Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation

SYNTHESE DES DONNEES « ALGUES » EN BAIE DE PRONY ET CANAL WOODIN ET DE LA HAVANNAH

Missions de 2007 à 2012

PROJET GORO NICKEL

VALE NOUVELLE CALEDONIE

SARL AQUA TERRA - Capital : 1 000 000 XPF
Adresse postale : BP 15559 - 98804 Nouméa - Adresse bureau : Immeuble Auer, 22 rue Auer à Ducos
Tél : (687) 23 33 22 - Tél. / Fax : (687) 43 05 32
RIDET : 813725.001 RIB : BCI 17499 00010 20200002012 39
Courriel : aquaterra@aquaterra-nc.com

Caractéristiques du dossier :

Référence du document		Rap 070-11_Ver 02
Référence du contrat		E40362 et E40363
Numéro de l'affaire		070-11
Client		Vale Nouvelle-Calédonie
Commune		Mont Dore
Coordonnées (WGS 84 UTM58)	**X**	696 000
	Y	7 528 000
Mots clés		projet Goro Nickel, macrophytes, algues, cyanobactéries, communautés récifales, biocénoses marines, suivis environnementaux, port

Suivi des modifications :

N° de version	Transmis à	Action / Etat	Date
00	Experts partenaires	Rapport remis (format électronique) : version préliminaire (draft) pour relecture du fond	Mars 2013
	AQUA TERRA	En interne : pour relecture pour contrôle qualité	
01	VALE NC	Rapport final remis au Client (mail) pour validation	29 avril 2013
02	VALE NC	Rapport final remis au Client (CDRom)	Mai 2013

Les responsables du suivi des modifications sont :

Maître d'Ouvrage	Céline CASALIS (Vale NC)
Entreprise	Valérie VAILLET (AQUA TERRA)

N° Document	Émis-le	Par	Approuvé par	Le
Rap 070-11_Ver 00	Mars 2013	AQUA TERRA VV	Biocénose	Mars 2013
Rap 070-11_Ver 01	29 avril 2013	AQUA TERRA VV	Vale NC	30 avril 2013
Rap 070-11_Ver 02	03 mai 2013	AQUA TERRA VV		

Dans un souci constant de préserver l'environnement, nos rapports sont imprimés sur du papier certifié PEFC, en recto-verso et nos toners sont éliminés via une filière agréée.

Equipe de travail

Ce rapport présente la synthèse de 6 années de travail (de 2007 à 2012, 8 missions), au cours desquelles, le mandataire était la SARL AQUA TERRA, avec Valérie VAILLET comme chef de projet, avec l'aide d'experts scientifiques.
Pour la problématique de cette étude (les « algues »), les principaux intervenants étaient :

Pour AQUA TERRA :

- **Valérie VAILLET** : gérante de la société (Ingénierie de l'environnement et de la réhabilitation), ingénieur biologiste (DEA Océanographie biologique, Paris VI). Grande expérience en gestion de l'environnement et notamment à travers des campagnes d'échantillonnage sous-marin. A réalisé de nombreuses missions dans le cadre du suivi des communautés coralliennes pour le projet Goro Nickel. Plongeur niveau III.

Pour ces prestations: responsable logistique et technique ; échantillonnage du substrat (LIT) et traitement/analyses des résultats liés, photographie sous-marine ; synthèse des données, rédaction des rapports.

Pour BIOCENOSE MARINE :

- **Grégory LASNE** : gérant de la société (Etude environnementale marine), master recherche en Environnement Océanographique Littoral et Hauturier (Bordeaux I). Compétences reconnues pour la taxonomie corallienne et l'inventaire des biocénoses benthiques marines, ainsi que la description géomorphologique et environnementale de site sous marin. Plongeur niveau III, CAH IIB, Nitrox et TDI (recycleur).

Pour ces prestations: inventaire des communautés benthiques et particulièrement des coraux, ainsi que l'analyse des résultats liés ; description des habitats ; atlas photographique (photographies *in situ*).

Crédit photographique : Grégory Lasne pour Biocénose, Valérie Vaillet, pour AQUA TERRA

Table des Matières

EQUIPE DE TRAVAIL 3
TABLE DES MATIERES 4
LISTE DES TABLEAUX 5
LISTE DES FIGURES 6
LISTE DES CARTES 6
LISTE DES PHOTOS 6
1 PREAMBULE 7
2 METHODOLOGIE SUCCINCTE 8
2.1 ZONE D'ETUDE 8
2.1.1 Contexte général 8
2.1.2 Présentation des stations 8
2.1.2.1 Les stations 8
2.1.2.2 Les transects 10
2.2 LES ECHANTILLONNAGES / LE TRAITEMENT DES DONNEES 10
2.2.1 Protocole pour l'étude du substrat 10
2.2.2 Protocole pour l'étude du benthos 11
2.3 PERIODE D'ECHANTILLONNAGE 13
3 BIBLIOGRAPHIE 15
3.1 GENERALITES SUR LES MACROPHYTES 15
3.2 LES MACROPHYTES EN MILIEU CORALLIEN 15
3.2.1 La répartition bathymétrique 16
3.2.2 Influence de la fixation au substrat 16
3.2.3 Influence de l'hydrodynamisme 16
3.2.4 Influence de la température 17
3.2.5 Influence de la sédimentation 17
3.2.6 Influence de la profondeur 17
3.3 LES PRINCIPAUX GENRES DE MACROPHYTES DE LA ZONE D'ETUDE 17
3.3.1 Les algues vertes ou Chlorophytes 17
3.3.2 Les algues rouges ou Rhodophytes 18
3.3.3 Les algues brunes ou Chromophytes 20
3.4 PARTICULARITES DE LA ZONE D'ETUDE ET DES MACROPHYTES 21
3.4.1 Réserves marines et caractère unique de la zone 21
3.4.2 Risques d'introduction et de diffusion d'espèces exogènes 22
3.4.3 Menaces des macrophytes sur la diversité biologique 22
3.4.4 Les assemblages des biocénoses marines en équilibre avec les paramètres physico-chimiques du milieu 23
3.4.4.1 Canal de la Havannah et canal Woodin 23
3.4.4.2 Baie de Prony 23
3.5 LES CYANOBACTERIES 23
3.6 LES SAISONS EN NOUVELLE-CALEDONIE 24
3.7 FACTEURS CLIMATIQUES EXCEPTIONNELS EN NOUVELLE-CALEDONIE, SUR LA PERIODE D'ETUDE 25
3.7.1 Les facteurs environnementaux exceptionnels entre 2007 et 2012 25
3.7.2 Superposition des facteurs environnementaux 26
4 RESULTATS POUR LES MACROPHYTES 27
4.1 METHODE DU COULOIR 27
4.1.1 Analyse de variance 28
4.1.2 Test de Friedman 29
4.2 METHODE DU LIT 30
4.3 CONCLUSION (MACROPHYTES) 31
5 RESULTATS POUR LES ALGUES VERTES 34
5.1 ANALYSE DE VARIANCE (CHLOROPHYTES) 35
5.2 TEST DE FRIEDMAN (CHLOROPHYTES) 37
5.3 CONCLUSION (CHLOROPHYTES) 39
6 RESULTATS POUR LES ALGUES ROUGES 42
6.1 ANALYSE DE VARIANCE (RHODOPHYTES) 43
6.2 TEST DE FRIEDMAN (RHODOPHYTES) 45
6.3 CONCLUSION (RHODOPHYTES) 47

7 RESULTATS POUR LES ALGUES BRUNES 50
7.1 ANALYSE DE VARIANCE (CHROMOPHYTES) 51
7.2 TEST DE FRIEDMAN (CHROMOPHYTES) 53
7.3 CONCLUSION (CHROMOPHYTES) 55
8 RESULTATS POUR LES CYANOBACTERIES 58
8.1 METHODE DU COULOIR 58
8.2 METHODE DU LIT 58
8.3 CONCLUSION (CYANOBACTERIES) 63
9 CAS PARTICULIERS DES ESPECES EXOGENES / INVASIVES / ENVAHISSANTES 65
9.1 DEFINITIONS 65
9.2 ESPECES EXOGENES / INVASIVES 65
9.3 ESPECES ENVAHISSANTES 66
10 CONCLUSION 67
11 RECOMMANDATIONS / AMELIORATIONS 69
12 SOURCES 71

Liste des Tableaux

Tableau n°1 : Coordonnées des stations d'échantillonnage 9
Tableau n°2 : Caractéristiques des transects selon les stations 10
Tableau n°3 : Indices semi-quantitatifs d'abondance – cas classique 12
Tableau n°4 : Code couleur pour la comparaison temporelle d'une même station 13
Tableau n°5 : Biodiversité α des macrophytes pour tous les transects à chaque mission 27
Tableau n°6 : Analyse de la Variance de la richesse spécifique des macrophytes pour tous les transects selon les missions 28
Tableau n°7 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique des macrophytes pour toutes les missions 29
Tableau n°8 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des macrophytes pour toutes les missions 29
Tableau n°9 : Recouvrement en agrophytes (%) pour tous les transects à chaque mission 30
Tableau n°10 : Valeur de la richesse spécifique des algues vertes pour tous les transects à chaque mission 34
Tableau n°11 : Valeur d'abondance des algues vertes pour tous les transects à chaque mission 35
Tableau n°12 : Analyse de la Variance de la richesse spécifique des algues vertes pour tous les transects à chaque mission 36
Tableau n°13 : Analyse de la Variance de l'abondance des algues vertes pour tous les transects à chaque mission 36
Tableau n°14 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique et de l'abondance des algues vertes pour toutes les missions 38
Tableau n°15 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des algues vertes pour chaque mission 38
Tableau n°16 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de l'abondance des algues vertes pour chaque mission 39
Tableau n°17 : Valeur de la richesse spécifique des algues vertes pour tous les transects à chaque mission 42
Tableau n°18 : Valeur d'abondance des algues rouges pour tous les transects à chaque mission 43
Tableau n°19 : Analyse de la Variance de la richesse spécifique des algues rouges pour tous les transects à chaque mission 44
Tableau n°20 : Analyse de la Variance de l'abondance des algues rouges pour tous les transects à chaque mission 44
Tableau n°21 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique et de l'abondance des algues rouges pour toutes les missions 46
Tableau n°22 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des algues rouges à chaque mission 46
Tableau n°23 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de l'abondance des algues rouges à chaque mission 47

Tableau n°24 : Valeur de la richesse spécifique des algues brunes pour tous les transects à chaque mission 50
Tableau n°25 : Valeur de l'abondance des algues brunes pour tous les transects à chaque mission 51
Tableau n°26 : Analyse de la Variance de la richesse spécifique des algues brunes pour tous les transects à chaque mission 52
Tableau n°27 : Analyse de la Variance de l'abondance des algues brunes pour tous les transects à chaque mission 52
Tableau n°28 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique et de l'abondance des algues brunes pour toutes les missions 54
Tableau n°29 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des algues brunes à chaque mission 54
Tableau n°30 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de l'abondance des algues brunes à chaque mission 55
Tableau n°31 : Recouvrement en cyanobactéries (%) pour tous les transects à chaque mission 59

Liste des Figures

Figure n°1 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des macrophytes 29
Figure n°2 : Richesse spécifique des algues pour toutes les transects, à chaque mission 32
Figure n°3 : Recouvrement des macrophytes (%), pour tous les transects, à chaque mission 33
Figure n°4 : Valeurs de la richesse spécifique moyenne et de l'abondance moyenne des algues vertes 37
Figure n°5 : Abondance (échelle 1 à 5) des algues vertes (tous transects, à chaque mission) 41
Figure n°6 : Valeur de la richesse spécifique moyenne et de l'abondance moyenne des algues rouges 45
Figure n°7 : Abondance (échelle 1 à 5) des algues rouges (tous transects, à chaque mission) 49
Figure n°8 : Valeurs de la richesse spécifique moyenne et de l'abondance moyenne des algues brunes 53
Figure n°9 : Abondance (échelle 1 à 5) des algues brunes (tous transects, à chaque mission) 57
Figure n°10 : Abondance des cyanobactéries pour tous les transects, à chaque mission (Radar) 60
Figure n°11 : Abondance des cyanobactéries pour tous les transects, à chaque mission (Histogramme) 61
Figure n°12 : Recouvrement (%) des cyanobactéries, pour tous les transects, en cumulé pour toutes les missions 62

Liste des Cartes

Carte n°01 : Localisation des stations sur carte topographique (source DITTT) 8
Carte n°02 : Localisation des stations sur photographie aérienne (source Google Earth) 9

Liste des Photos

Photo n°1 : Halimeda sp. 18
Photo n°2 : Caulerpa sp. 18
Photo n°3 : Asparagopsis sp. 19
Photo n°4 : Corallines 20
Photo n°5 : Trichogloea requienii 20
Photo n°6 : Sargassum sp. 20
Photo n°7 : Lobophora variegata 21
Photo n°8 : Padina sp. 21
Photo n°9 : Tapis de cyanobactéries filamenteuse (Phormidium sp.) et en forme de pompon (Symploca hynoides) 24

Crédit photographique : Grégory Lasne pour Biocénose, Valérie Vaillet pour AQUA TERRA.
Photographies aériennes : Google Earth

1 Préambule

La société Goro Nickel S.A.S. a réalisé un "état de référence" des habitats coralliens en 2005 dans le cadre de l'application de l'arrêté d'autorisation de mise en fonctionnement des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) n° 1769-2004/PS du 15 octobre 2004.

Suite à la transmission des résultats de l'étude, la Direction de l'Environnement (DENV) a émis un certain nombre de commentaires notamment sur la méthodologie employée et a demandé à la société Goro Nickel SAS d'organiser un atelier de travail spécifique afin d'établir un protocole de référence pour le suivi temporel futur des communautés marines.
Suite à cet atelier de travail (le 3 mars 2006, avec la participation des experts institutionnels (Institut de Recherche pour le Développement, Université de Nouvelle Calédonie, Commission du Pacifique Sud) et des bureaux d'études locaux) une démarche méthodologique d'échantillonnage et d'analyse (issue notamment des travaux de English et al. [01]) a été proposée au regard des objectifs fixés.
Un programme détaillé pour réaliser le suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés sur un ensemble de 11 stations de mesures prédéfinies et suivant le protocole d'échantillonnage et les méthodes d'analyse validés à l'issue de l'atelier de travail précité a donc été rédigé pour servir de cahier des charges (cf. *méthodologie présentée dans chaque rapport de suivi*).

La société Goro Nickel S.A.S., puis Vale Inco Nouvelle-Calédonie et dernièrement Vale Nouvelle-Calédonie, a alors fait réaliser une nouvelle campagne en septembre 2007 [02], en octobre 2008 [03], en juin 2009 [04], en mars-avril et septembre 2010 [05, 06], en mars et septembre 2011 [07, 08] puis en mars-avril 2012 [09] sur la base de ce cahier des charges, dans le cadre de la mise en place d'une base de données en vue d'une surveillance du milieu marin au démarrage de l'usine Goro Nickel.

L'objectif de cs études est d'effectuer un suivi de l'état des communautés coralliennes sur un ensemble de stations de mesures afin d'alimenter une base de données qui permettra de :

- Evaluer la variabilité naturelle des stations et d'optimiser l'effort d'échantillonnage par une étude de puissance ;
- Suivre dans le temps les effets potentiels des activités industrielles du projet Goro Nickel.

Ce suivi se fait à travers l'échantillonnage de 3 thèmes :

- l'habitat (le substrat),
- les macro-invertébrés épibenthiques (simplifié par la suite en « benthos »),
- les poissons.

Ce rapport présente une synthèse des résultats des campagnes réalisées entre 2007 et 2012 (soit 8 missions) en ce qui concerne les algues (données extraites des échantillonnages substrat et benthos).

Le Mandataire pour toutes ces études était la SARL AQUA TERRA, représentée par Valérie VAILLET, aidé par deux partenaires majeurs : ACREM pour la partie Ichtyologique et BIOCENOSE MARINE pour la partie Benthique[1].

Dans ce rapport, une partie des données ou commentaires généraux de BIOCENOSE MARINE (benthos) est reprise.
Par ailleurs, ses résultats sont retranscrits intégralement, sous sa responsabilité, dans les paragraphes concernés.

[1] Les données fournies par ces deux sociétés, le sont sous leur entière responsabilité. La SARL AQUA TERRA ne peut être tenue à une quelconque implication dans leurs résultats.

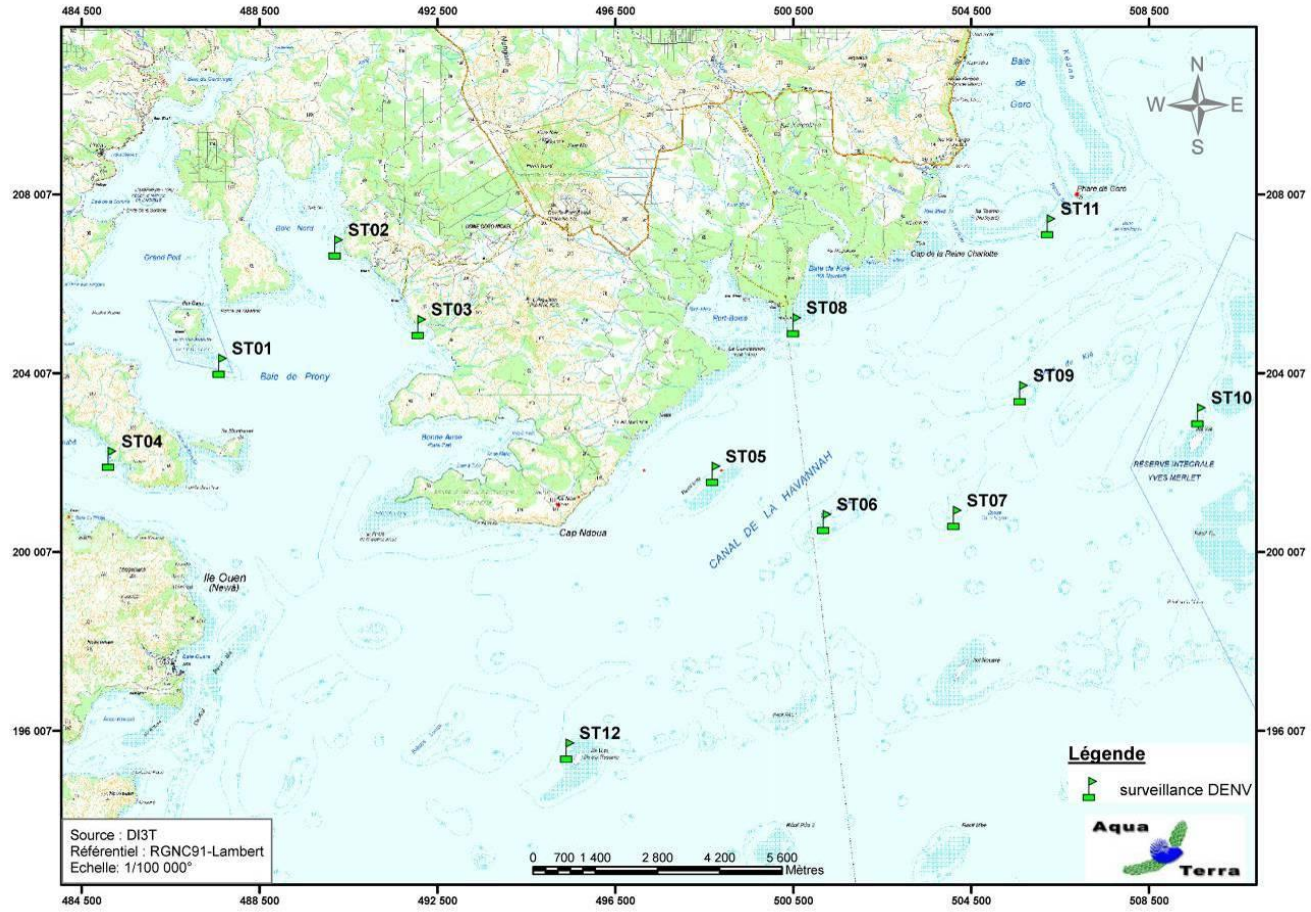
2 Méthodologie succincte

Les méthodologies appliquées dans le cadre de ces études ont rigoureusement respecté le cahier des charges élaboré sous contrôle de la DENV et fourni par Vale Nouvelle-Calédonie.
Le cahier des charges détaillé peut être consulté dans chaque rapport de mission.

2.1 Zone d'étude

2.1.1 Contexte général

La zone d'étude générale comprend la zone principale du lagon pouvant être influencée par le projet (de manière directe ou indirecte) ainsi que des stations de référence.
C'est donc, dans le Sud de la Grande Terre : la baie de Prony, le canal Woodin et le canal de la Havannah.
Le contexte géographique général est présenté sur la carte 01.



Carte n°01 : Localisation des stations sur carte topographique (source DITTT)

2.1.2 Présentation des stations

2.1.2.1 Les stations

Au début, l'étude portait sur les 11 stations de mesures prédéfinies.
A partir de la campagne de juin 2009, à la demande de la tribu de l'île Ouen, une station supplémentaire (ST12, Ugo) a été ajoutée.
Les 12 stations sont donc localisées ainsi :

- 7 + 1 = 8 stations dans le canal de la Havannah,
- 3 stations dans la baie du Prony,
- 1 station à l'entrée du canal Woodin.

Les coordonnées de ces stations sont données dans le tableau 01.
Elles avaient été fournies dans le cahier des charges et elles ont été vérifiées sur le terrain par un GPS (Garmin GPSmap 60CSx), dont la précision est métrique. Le cas échéant, elles ont été reprises et affinées et sont donc modifiées dans ce tableau (cellules grisées) par rapport à celles d'origines (du cahier des charges).
Par défaut, elles correspondent au piquet de départ (0 mètre) du transect A.

Tableau n°1 : Coordonnées des stations d'échantillonnage

			Coordonnées (RGNC 91)	
STATIONS			LONGITUDE	LATITUDE
Baie de Prony	Ilot Casy	01	166°51.033	22°21.799
	Creek Baie Nord	02	166°52.546	22°20.356
	Port	03	166°53.639	22°21.312
Canal Woodin	Woodin	04	166°49.593	22°22.933
Canal de la Havannah	Récif Ioro	05	166°57.507	22°23.072
	Banc Ionontea	06	166°58.995	22°23.650
	Basse Chambeyron	07	167°00.671	22°23.591
	Récif pointe Puka	08	166°58.554	22°21.264
	Bancs de Kié	09	167°01.529	22°22.070
	Ilot Kié	10	167°03.862	22°22.324
	Récif Toémo	11	167°01.875	22°20.046
	Ugo	12	166°55.615	22°26.438

Les stations sont positionnées sur la photographie aérienne en carte 02.

Carte n°02 : Localisation des stations sur photographie aérienne (source Google Earth)

2.1.2.2 Les transects

En accord avec le cahier des charges de la méthodologie générale applicable pour le projet Goro Nickel et adapté aux caractéristiques morphologiques des stations, plusieurs transects ont été définis, comme décrits dans le tableau 02.

Le cahier des charges prévoit de travailler sur des transects (ligne) de 20 mètres de long.
Ainsi, à chaque station, trois transects de 20 m sont positionnés, en fonction de la profondeur :

- sur le haut du tombant (noté A),
- sur le milieu du tombant (noté B),
- sur le bas du tombant (mais au maximum à 20 m de profondeur, et à l'exclusion des zones de vase et dans ce cas, le transect est effectué avant la zone de vase) (noté C).

Quatre stations n'ont que 2 transects (ST01, ST02, ST08 et ST12) et la profondeur de chacun des transects (tableau 02) provient des relevés effectués lors de la présente mission.

Tableau n°2 : Caractéristiques des transects selon les stations

STATION	LOCALISATION	NOMBRE DE TRANSECTS	PROFONDEUR (m) DES TRANSECTS		
			A	B	C
01	Ilot Casy	2	7	10	-
02	Creek Baie Nord	2	10	12	-
03	Port	3	5	10	13
04	Woodin	3	4	11	21
05	Récif Ioro	3	5	10	20
06	Banc Ionontea	3	9	15	21
07	Basse Chambeyron	3	7	17	22
08	Récif pointe Puka	2	9	12	-
09	Bancs de Kié	3	7	17	20
10	Ilot Kié	3	10	16	21
11	Récif Toémo	3	6	11	20
12	Ugo	2	5	13	-

Pour matérialiser les transects, 3 piquets permanents ont été positionnés sur chacun : au départ, soit 0 m ; à 10 m et à la fin, soit 20 m. Par ailleurs un 2ème piquet a été posé au point 0 m du 1er transect (le plus haut).

Par mesure de commodité, dans la suite du rapport, les photos, figures etc. seront notées en abrégé par rapport à leur situation : le numéro de la station, la lettre du transect et le chiffre (en romain) de la longueur par rapport au ruban. Ainsi une photo prise sur le piquet de fin (à 20 m de distance) du transect du milieu de la station de Casy, sera abrégée en : ST01BXX.

2.2 Les échantillonnages / le traitement des données

2.2.1 Protocole pour l'étude du substrat

L'analyse temporelle doit permettre de montrer les variations entre les pourcentages de couverture corallienne, de végétaux, d'éponges, ….
Les pourcentages de substrat biotique et de substrat abiotique doivent aussi bien être mis en évidence.

Pour cela, c'est la méthode dite « LIT » qui a été appliquée.
La méthode du Line Intercept Transect (LIT) de English & al (1997) [01] est largement utilisée par les experts locaux pour l'évaluation de l'état des peuplements récifaux et des organismes associés.

Cette méthode est dite à points fixes car seules les espèces et le substrat sous le transect sont notés.
Cette méthode permet d'évaluer la variabilité du substrat (suivi environnemental tous les semestres et/ou tous les ans). Cependant le LIT n'est pas représentatif de la biodiversité de la zone car les données prisent en compte sont exclusivement celles sous le ruban.

L'évaluation du substrat a été faîte le long du transect (sous le ruban) selon le principe des classes continues, avec une résolution de 10 cm.

Les classes retenues (au nombre de 28) sont adaptées de celles préconisées par English et al. [01] pour le « Line Intersept Transect » (« life forms »).

Une vidéo de chaque transect, ainsi que des photographies des objets représentatifs, ont été effectuées à des fins de stockage, permettant de revenir ultérieurement de façon qualitative sur des variations ayant été démontrées quantitativement avec le LIT.

Le principe d'échantillonnage par LIT est de noter à chaque changement de catégorie de substrat (= classe) la distance donnée par le ruban. La différence entre deux points de transition est alors la "longueur" correspondante à cette catégorie.
Le traitement consiste alors à faire le calcul du pourcentage de recouvrement de chaque classe, qui est obtenu par la somme de "ses longueurs" divisée par la longueur du substrat multipliée par 100.
Les classes qui sont au nombre de 28 ont été regroupées en 12 principales composantes afin de pouvoir simplifier les interprétations.
Ces composantes reprennent les groupes biotiques (coraux scléractiniaires, autres coraux, alcyonaires, autres organismes, algues, algues sur corail mort) ainsi que le matériel composant le substrat (corail mort, débris, sable, dalle, vase, eau).
Elles ont alors été exprimées en pourcentage pour chaque transect et présentées sous forme de graphique pour permettre une comparaison visuelle rapide.

Selon ce protocole, les macrophytes ne sont détaillées que sous 5 catégories/classes, regroupées en 1 seule composante (« Algue »):

- Assemblage algal,
- Algues calcaires,
- Halimeda,
- Macroalgues,
- Algues filamenteuses (catégorie où les cyanobactéries, non prévues à la base dans le protocole de English et al. ont été comptabilisées et sont les seules représentantes).

Nota bene : Il n'est donc pas fait de distinction avec ce protocole entre les 3 grands différents groupes d'algues (cf. § 3.1 : Chlorophytes, Rhodophytes et Chromophytes). Les résultats concernent les macrophytes dans leur ensemble, avec une précisison possible pour les cyanobactéries.

2.2.2 Protocole pour l'étude du benthos

Cet échantillonnage doit permettre de quantifier la richesse spécifique (biodiversité) et de montrer si des changements ont lieu sur **des taxons cibles**.

Pour cela, c'est la méthode d'observation sur couloirs qui a été appliquée.
Le couloir fait une largeur de 5 mètres (2.5 mètres de part et d'autre de chaque transect de 20 mètres de longueur).
Cette méthode donne une bonne représentation des communautés benthiques (inventaires faunes et flores) et du substratum (description géomorphologique) car une zone importante est prospectée et étudiée (100 m² pour chaque transect soit 300 m² par station théorique).
L'échantillonnage des stations comprend les communautés biotiques (les coraux scléractiniaires, les macrophytes et les invertébrés) et le substratum.

Selon le cahier des charges initial, les taxons cibles retenus sont :

- les algues et phanérogames (présence / absence), à déterminer au niveau du genre,
- les étoiles de mer, les oursins et les holothuries (densité), à déterminer au niveau de l'espèce,
- les crinoïdes (présence / absence),
- les cliones (densité),
- les bénitiers et les trocas (densité).

Du fait du niveau d'expertise du biologiste plongeur, par rapport au cahier des charges, le travail a été approfondi, et l'échantillonnage a été en fait le plus exhaustif possible (tous les organismes benthiques et non que les taxons cibles), avec une détermination au niveau taxonomique le plus bas possible.
Par contre, la densité en organisme dans une zone d'étude étendue est difficile à évaluer précisément et peut conduire à de nombreuses erreurs. Afin de simplifier les opérations sous-marines et d'éviter les erreurs d'abondance, une échelle de recouvrement de 1 à 5 (tableau 03) a été mise en place au sein des groupes faunistiques suivant :

- Scléractiniaires (coraux) à l'échelle du genre et si possible de l'espèce.
- Algues à l'échelle du genre et si possible de l'espèce.
- Spongiaires et ascidies à l'échelle du genre et si possible de l'espèce.
- Bénitiers, trocas à l'échelle du genre.
- Echinodermes (étoiles de mer, oursins, holothuries, crinoïdes) à l'échelle du genre.

Cette échelle d'abondance a été modifiée par rapport à l'échelle d'abondance de English et al, 1997 [01]. Elle a été élaborée afin de caractériser l'abondance spécifique ou générique des biocénoses marines. Ainsi les pourcentages de recouvrement ont été réduits pour les indices (numéroté de 1 à 5) afin de pouvoir décrire les scléractiniaires, les macrophytes et les invertébrés sur l'ensemble de l'échelle.

Tableau n°3 : Indices semi-quantitatifs d'abondance – cas classique

ECHELLE	RECOUVREMENT	ABONDANCE (nb individus ou colonies / 100 m²)
1	Rare	1
2	Faible	2 à 10
3	Moyen	11 à 20
4	Fort	21 à 41
5	Important	plus de 41

Des photographies et des vidéos ont été réalisées afin d'illustrer les observations terrain.

La recherche de paramètres écologiques types (et représentatifs) ont été réalisés sur les taxons cibles :

- listing au niveau taxinomique demandé,
- richesse spécifique (le cas échéant),
- diversité,
- densité,
- abondance relative.

Ces résultats ont été comparés entre les transects et les stations.
Par ailleurs, afin de pouvoir évaluer rapidement le changement d'état d'une station d'une mission à une autre (recrutement, mortalité, blanchissement et abondance), un code couleur simple à été établi, comme décrit dans le tableau 04.

Tableau n°4 : Code couleur pour la comparaison temporelle d'une même station

Nouvelle espèce recensée	Recrutement si la colonie est juvénile et/ou nouvelle espèce recensée dans le couloir ou la zone prospectée par rapport à la dernière mission
Mortalité	Espèce absente dans le couloir par rapport à la dernière mission
Blanchissement	Espèce influencée par le blanchissement et de couleur blanche
Recolonisation zooxanthelles	Colonie en cours de recolonisation par les zooxanthelles (couleur pâle) Elle présente de grandes chances de survie
Espèce cible	Espèce cible (biocénose hors coraux)
Mobilité	Espèce corallienne absente mais non comptabilisée en « mortalité » car mobile et l'exosquelette n'a pas été retrouvé dans la station
Echelle (1 à 5)	Augmentation de l'abondance par rapport à la dernière mission
Echelle (1 à 5)	Diminution de l'abondance par rapport à la dernière mission
Echelle (1 à 5)	Pas de changement de l'abondance par rapport à la dernière mission

Ce protocole permet donc d'obtenir des données de précision au niveau de la richesse spécifique et de l'abondance de chaque taxon.
Les résultats obtenus sont donc présentés ici pour les macrophytes dans leur ensemble, mais aussi pour les 3 grands différents groupes d'algues (cf. § 3.1 : Chlorophytes, Rhodophytes et Chromophytes) ainsi que pour les cyanobactéries.

Nota Bene sur la précision du protocole :
L'étude de la biodiversité des macrophytes n'est pas réalisée de manière exhaustive :

- Les macrophytes sont déterminés au niveau du genre (et sporadiquement au niveau de l'espèce quand cela est possible *in situ*), car il faudrait systématiquement faire des prélèvements *in situ* afin de déterminer au niveau de l'espèce les macrophytes présents pour chaque niveau bathymétrique (constitution d'herbier et analyses ADN nécessaire pour un inventaire spécifique).
- Se sont les taxons les plus abondants et les plus représentatifs de chaque biotope qui sont relevés (certains trop petits ou trop peu représentés peuvent ne pas être observés),
- avec une échelle semi quantitative (1 à 5) pour une surface de 100m².

Nota Bene pour la station Ugo:
Pour les missions 2007 et 2008, la station Ugo (ST12) n'était pas encore échantillonnée, c'est donc la valeur moyenne des missions suivantes qui a été intégrée dans les différents calculs.

2.3 Période d'échantillonnage

L'inventaire des macrophytes a été réalisé à travers les différentes campagnes de suivi de la zone d'étude.
Les résultats présentés ici sont ceux des échantillonnages réalisés entre 2007 et 2012, à savoir 8 campagnes, comme suit :

- août 2007 (échantillonnages entre le 16 et le 30 août et la station ST03 le 19 septembre),
- octobre 2008 (du 20 au 29 octobre),
- juin 2009 (du 04 au 12 juin),
- mars 2010 (du 25 mars au 09 avril),
- septembre 2010 (du 14 au 29 septembre),
- mars 2011 (du 22 mars au 1er avril),
- septembre 2011 (du 25 septembre au 06 octobre),
- mars 2012 (du 29 mars au 06 avril).

Nota Bena sur le pas d'échantillonnage :
Depuis mars 2010, les échantillonnages sont réalisés avec un pas de temps semestriel.

La richesse spécifique et l'abondance des algues sont très variables dans l'année et dans le temps et dépendent :

- du cycle de développement des espèces,
- des variations des paramètres environnementaux (saisonnalité),
- du degré d'exposition des récifs par rapport aux agents hydrodynamiques,
- ainsi que des facteurs environnementaux exceptionnels tels que les évènements dépressionnaires et les phénomènes climatiques.

La périodicité d'échantillonnage « pas de temps semestriel » n'est donc pas adapté pour l'étude des algues car la grande variabilité interspécifique au cours de l'année ne permet pas d'enregistrer les amplitudes maximales et minimales, ni les variations de diversité et d'abondance. Les différents genres de macrophytes ne sont pas callés sur les mêmes rythmes de développement et leur durée de vie est variable d'un genre à l'autre. De plus, deux saisons principales (chaude et fraiche) sont observées en Nouvelle-Calédonie, mais la transition entre ces deux saisons n'est pas toujours évidente à distinguer car elles s'entrecroisent avec deux autres périodes ou saisons (sèche et humide).

Cependant, ces relevés permettent d'évaluer les tendances d'abondance pour chaque mission pour les genres d'algues vertes (Chlorophytes), d'algues rouges (Rhodophytes) et d'algues brunes (Chromophytes). Et surtout d'appréhender dans le temps, si certains genres ou espèces deviennent envahissants ou invasifs par rapport au reste des communautés coralliennes.

3 Bibliographie

3.1 Généralités sur les macrophytes

Les algues sont des organismes uni ou pluricellulaires qui font partie du règne végétal. De ce fait, elles « pratiquent » la photosynthèse. Ce processus photochimique permet la synthèse de substances non organiques complexes grâce à la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.
L'énergie lumineuse est captée par des pigments.

Chaque pigment est adapté à des conditions de luminosité particulière.
Ainsi les pigments rouges et bruns absorbent plus facilement les spectres bleus et verts de la lumière et sont donc adaptés à une faible luminosité. Les pigments verts, quant à eux, absorbent le rouge qui n'est présent que proche de la surface.
Les conditions de la luminosité variant en fonction de la profondeur cela induit un étagement des espèces, selon leur composition pigmentaire notamment.

La classification des algues a été décidée en fonction de la nature des pigments qu'elles possèdent :
- les algues vertes (Chlorophytes),
- les algues rouges (Rhodophytes),
- les algues brunes (Chromophytes).

Les algues vertes ou Chlorophytes

Elles désignent un ensemble d'algues dont les pigments photosynthétiques principaux sont les chlorophylles a et b. Comme leur nom l'indique, les algues vertes sont de couleur verte (ex : *Halimeda*, *Caulerpa*, *Codium*, *Chlorodesmis*, …).

Les algues rouges ou Rhodophytes

Se sont un grand groupe d'algues pour la plupart sont marines et pour multicellulaires (et le plus souvent fixées sur les rochers, les coquillages ou d'autres algues). Elles sont caractérisées par une composition pigmentaire avec un seul type de chlorophylle (la chlorophylle a), des caroténoïdes et des pigments caractéristiques (les phycobiliprotéines). Comme leur nom l'indique, les algues rouges sont de couleur rouge (ex : *Asparagopsis*, *Trichogloea*, *Gibsmithia*, *Plocamium*, *Actinotrichia*, *Peyssonnelia*, …).
Les algues calcaires ou corallines sont également des algues rouges de l'ordre des Corallinales. Elles sont caractérisées par un thalle qui est dur en raison des dépôts calcaires contenus dans les parois cellulaires. Les couleurs de ces algues sont le plus souvent roses, ou une autre nuance de rouge, mais d'autres espèces peuvent être violettes, jaune, bleue, blanc ou gris-vert. Les algues calcaires jouent un rôle important dans l'écologie des récifs coralliens car elles constituent une part importante de nourriture pour de nombreux organismes marins (oursins, poissons perroquets, mollusques…).

Les algues brunes ou Chromophytes

Aussi nommées Phaeophyceae, sont des algues qui utilisent comme pigment collecteur de lumière de la chlorophylle c plus un pigment brun : la fucoxanthine (ex : *Sargassum*, *Padina*, *Dictyota*, *Lobophora*, *Turbinaria*, …).

3.2 Les macrophytes en milieu corallien

Une des caractéristiques du monde corallien est l'apparente pauvreté en macrophytes sur et autour des récifs. Cependant, malgré un manque d'exubérance de sa végétation sous-marine, le milieu corallien et récifal est le domaine privilégié de la vie benthique. Tous les groupes biologiques et en particulier les algues y ont trouvé une possibilité d'adaptation [10, 11].

La compétition pour l'espace avec de nombreux autres organismes fixés (coraux, spongiaires, alcyonaires, …) et les teneurs en éléments nutritifs, mais aussi pour une large part le broutage des poissons herbivores (1/4 de la faune ichtyologique) et des invertébrés (mollusques et échinodermes) comptent parmi les facteurs contrôlant le développement des végétaux.

En broutant de manière sélective, les poissons contrôlent la diversité spécifique des algues. Mais ils n'agissent pas seulement en tant que facteurs limitant, ils peuvent aussi favoriser le développement de certaines algues. En effet, certaines espèces de la famille des Pomacentridés, qui ont un comportement territorial et se nourrissent aussi d'algues benthiques, maintiennent leur territoire hors de la prédation et favorisent la croissance de turf algal qui forment alors un gazon dense.
Par leur potentiel de régénération, leurs systèmes de défense chimique, leur coopération avec d'autres organismes, les algues montrent une très bonne faculté d'adaptation au milieu.

La durée de vie d'une algue est variable :

- Elle peut être courte avec une succession rapide de générations. Dans ce cas, l'algue apparaît en saison favorable en alternance avec une génération microscopique en saison défavorable.
- Elle peut être longue, mais la durée de vie exacte des algues n'est pas connue (sauf pour quelques fucales et laminariales).

3.2.1 La répartition bathymétrique

Les algues occupent à peu près tous les milieux dès lors qu'ils sont éclairés et humides, toutefois leur répartition bathymétrique est limitée par leur capacité photosynthétique (selon leurs pigments).
Dans les zones tropicales, certaines algues (Corallinacées) ont été récoltées jusqu'à 268 mètres de profondeur (Bahamas) ; toutefois, c'est dans les premiers 30 mètres qu'elles sont les plus abondantes et les plus diversifiées.

3.2.2 Influence de la fixation au substrat

Les algues pluricellulaires vivent généralement fixées au substrat et constituent les algues benthiques, que l'on oppose aux formes unicellulaires libres du plancton. Le cas le plus remarquable de grandes algues flottantes est celui des Sargasses (algue brune du genre *Sargassum*) qui forment des radeaux flottants pour se disperser et dans une moindre mesure l'algue brune du genre *Turbinaria*.
Le cas tout aussi remarquable d'algue unicellulaire prisonnière du substrat est celui des zooxanthelles, algues qui vivent en symbiose avec les coraux.

D'une manière générale, tout substrat solide inerte ou vivant peut être colonisé par des algues dès lors que sa longévité est suffisante. On parle d'algues épiphytes lorsqu'elles sont fixées sur d'autres algues, d'épizoïques lorsqu'elles vivent sur un animal et d'endolithes quand elles s'installent dans les substrats calcaires qu'elles perforent.
La nature du substrat intervient dans la répartition des espèces par sa structure et sa texture.
Quel que soit le type de substrat, son degré de cohésion (stabilité) joue un rôle fondamental dans la durée de la fixation. C'est ainsi que les zones de substrats meubles soumis à un fort hydrodynamisme ne supportent jamais d'importantes populations d'algues.

3.2.3 Influence de l'hydrodynamisme

L'agitation de l'eau, due aux variations du niveau de la mer, aux courants et à la houle, crée des forces variant en fonction de son intensité, aussi les organismes sont-ils sélectionnés sur leur capacité à résister aux forces d'arrachement. La zone de balancement des marées et de vagues constitue l'étage supérieur du système récifal, domaine privilégié des algues brunes photophiles et des algues rouges calcifiées. Le degré d'exposition des habitats à l'hydrodynamisme conduit à distinguer les milieux du mode battu au mode calme. En règle générale, le fort hydrodynamisme sélectionne les espèces aux larges crampons à la base des axes et dont la texture des thalles est relativement coriace mais flexible (*Sargassum*), ou encore les formes encroûtantes molles (*Lobophora variegata*) ou calcifiées (Corallinacées). Ces accommodations se traduisent souvent pour une espèce donnée par des variations morphologiques tel le nanisme (*Turbinaria*, *Sargassum*).
De même, chez les algues rouges calcifiées, les formes encroûtantes massives abondent dans les milieux très

battus (crête récifale), tandis que les formes lamelleuses caractérisent plutôt les modes calmes ou abrités. Les structures ramifiées présentent une grande variété de formes et de taille des branches mais on note une diminution des branches avec la force du courant.

3.2.4 Influence de la température

Les algues connaissent généralement leur maximum d'abondance vers la fin de 1'été, au moment où les températures de 1'eau ambiante atteignent leurs plus hauts niveaux annuels. La température de 1'eau affecte directement la croissance des algues [12] en contrôlant les taux de photosynthèse et de respiration [29], et indirectement en restreignant la quantité d'oxygène dissous disponible dans 1'eau. Bien que les réactions thermiques des algues en culture soient assez bien connues [13], peu de travaux ont porté sur les effets de chocs thermiques brusques. A contrario, le phytoplancton est un groupe d'organismes habituellement considéré comme résistant aux stress thermiques (forme de vie simple, temps de régénération courts).

3.2.5 Influence de la sédimentation

La construction des récifs peut être considérablement perturbée par d'abondants apports terrigènes au fond des baies et à l'embouchure des rivières.
Concernant les macrophytes, la photosynthèse peut être réduite car la pénétration de la lumière est atténuée par les particules en suspension présentes en quantité importante dans la colonne d'eau. La plupart des espèces d'algues vont privilégier les récifs frangeants de petits fonds où la pénétration de la lumière est la plus importante.
Mais certaines espèces de macrophytes arrivent à résister à cette forte sédimentation et dans ce cas elles peuvent envahir le substrat au détriment des autres espèces (espèce envahissante).

D'autre part, plus en profondeur, la sédimentation va influencer également la spécification des macrophytes car peu d'espèces vont être capables de résister au dépôt sédimentaire. La compétition spatiale entre les algues et les coraux est très importante et si les coraux sont perturbés par la turbidité, les algues peuvent prendre rapidement le dessus et envahir l'ensemble du substrat.

3.2.6 Influence de la profondeur

La profondeur en tant que telle signifie uniquement « augmentation de la pression hydrostatique ». En revanche, beaucoup de facteurs écologiques varient en fonction de la profondeur (au sens bathymétrie) : elle joue un rôle important car elle entraîne la diminution de l'intensité lumineuse, de la température et de l'exposition aux vagues.
De plus, la forte sédimentation et le faible renouvellement de l'eau contribuent à la rapide diminution de la faune corallienne en profondeur dans le lagon.
Par conséquent la vie la plus riche des macrophytes et des coraux se situe dans les quinze à vingt premiers mètres d'eau. Cependant, les macrophytes sont présents jusqu'au fond du lagon et jusqu'à des profondeurs très importante.

3.3 Les principaux genres de macrophytes de la zone d'étude

3.3.1 Les algues vertes ou Chlorophytes

- **Le genre *Halimeda***

Ce sont des algues ayant l'aspect d'un petit chapelet d'écailles coriaces. La structure cellulaire est de type siphonné. L'algue fixe le carbonate de calcium, ce qui lui donne sa rigidité et la rend immangeable pour la plupart des espèces herbivores. Le thalle, de 15 à 20 cm, est constitué d'une suite d'éléments calcifiés discoïdes. Le développement de cette algue prend plus d'extension à l'abri de la lumière [14, 15].
Le recouvrement le plus faible du genre *Halimeda* correspond à l'hiver dans l'hémisphère sud (période comprise entre mai et octobre). Alors que durant la période estivale (novembre à avril), le taux de croissance mesuré est le plus haut.

Photo n°1 : Halimeda sp.

Ainsi, le taux de croissance semble être associé avec la température de l'eau qui est à son plus haut en été, atteignant plus de 25°C, tandis que pendant l'hiver la température baisse à 19°C. Une température de 23°C semble être une limite pour laquelle la croissance de *Halimeda* est ralentie. Pour cette raison, les mois de mai à octobre, pour lesquels la température est sous cette limite de 23°C, sont une phase de baisse ou de stagnation pour la croissance de ce genre. Par ailleurs, un effet saisonnier dans le cycle de production du genre *Halimeda* peut exister.

- **Le genre *Caulerpa***

C'est une algue pérenne de type nématothalle, polymorphe, appartenant à la famille Caulerpaceae habitant dans les eaux chaudes [16, 17]. Ce genre regroupe un grand nombre d'espèces tropicales.
Les espèces de *Caulerpa* se développent comme des plantes grimpantes sur la dalle, la roche subtidale submergée ou bien sur les substrats meubles. Certaines espèces courent sur les fonds sableux, d'autres forment des touffes denses de stolons entremêlés.

Photo n°2 : Caulerpa sp.

Les formes et les dimensions varient suivant l'espèce, toutefois on reconnaît toujours une partie rampante sur le substrat, fixée par des rhizoïdes incolores, et portant des ramifications soit plumeuses, soit aplaties aux bords lisses ou dentelés ou encore en forme de disques ou de petites grappes, généralement de couleur vert à jaunâtre. La structure cellulaire est de type siphonné : toutes les parties de l'algue sont en fait constituées d'un enchevêtrement de filaments tubulaires à plusieurs noyaux. La multiplication végétative est souvent prédominante, par croissance ou par fragmentation des stolons.
Ces algues peuvent être déracinées par l'abrasion de vague (particulièrement les espèces colonisant les substrats meubles). Certaines espèces d'algues sont relativement petites dans la taille et ont un système d'ancrage adapté leur permettant de résister à l'action de vague et de les empêcher de se disloquer même pendant des conditions hydrodynamiques importantes.

En France *C. taxifolia* a fait beaucoup parler d'elle par son introduction accidentelle. Une souche issue de l'aquarium de Monaco a été introduite accidentellement en Méditerranée, rejetée comme un déchet, où elle est devenue **une espèce envahissante**. La C. *taxifolia* est très résistante, elle survit jusqu'à 3 mois dans des eaux à 10 °C, alors que la souche tropicale ne peut survivre en dessous de 20 °C. Elle est connue sous le nom d'« algue tueuse », en raison de sa toxicité pour la faune, de son impact négatif sur la biodiversité et de sa vitesse de développement inquiétante. **Cette espèce n'est pas envahissante, ni exogène dans la zone d'étude.**

3.3.2 Les algues rouges ou Rhodophytes

Les algues rouges appartiennent à la division des Rhodophycées qui comprend environ 4 000 espèces marines décrites.

- **Le genre *Asparagopsis***

Il est caractérisé par des thalles en forme de touffe de filaments roses d'une dizaine de cm de hauteur, fixés sur un stolon cylindrique. Il se développe au niveau de l'étage infralittoral supérieur *(*photophile), de la surface à une dizaine de mètres de profondeur, rarement plus bas que 25 mètres, **dans des zones calmes ou**

modérément battues.

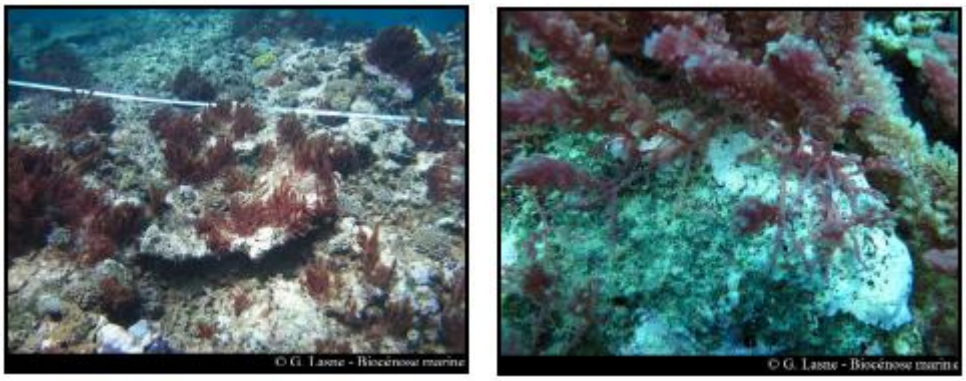


Photo n°3 : Asparagopsis sp.

Il possède un cycle de vie très élaboré : le cycle de développement est annuel et comprend la succession de 3 générations différentes (cycle trigénétique hétéromorphe). Ce genre suit un « détecteur stratégie de saison », rarement rapportée pour des macros algues tropicales. La reproduction est strictement saisonnière : **le déclenchement de crêtes de modules au milieu de la saison plus fraîche, laisse le temps suffisant à la croissance et la reproduction avant le début des conditions défavorables de l'été.** Les changements saisonniers de l'environnement affectent le déclenchement de module, croissance, reproduction et rejet.

Emportés par les vagues et les courants ils s'agrippent à d'autres algues et participent à la dissémination de l'espèce (il s'agit d'un véritable bouturage). L'action des herbivores peut être un facteur régulateur à son développement.

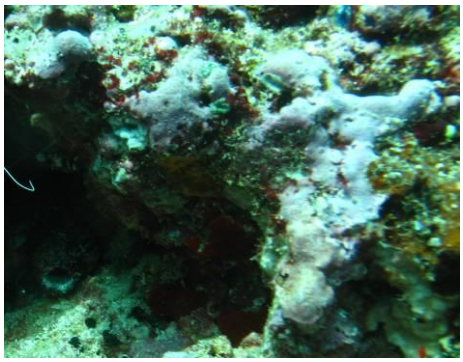
Le genre *Asparagopsis* est répertorié sur la liste IUCN parmi les espèces introduites et invasives dans les zones subtropicales et tempérées. Ce genre est très souvent épiphyte sur d'autres algues (plantes qui poussent en se servant d'autres plantes comme support). Il peut également constituer une menace pour les organismes benthiques et particulièrement pour les cnidaires par les effets écologiques de sa prolifération et la toxicité naturelle sur la santé du corail.

D'un point de vue taxonomique, le genre *Asparagopsis* comporte deux espèces *A. taxiformis* et *A. armata* mais seule l'espèce *A. taxiformis* est présente en Nouvelle-Calédonie. L'examen des branches dans la forme sexuée sous un grossissement moyen peut séparer les deux espèces de ce genre. Comme le nom le suggère l'espèce *Asparagopsis armata* possède de petites épines sur les branches. A. *taxiformis* possède des branches lisses.
D'un point de vue phylogénétique, le genre *Asparagopsis* forme un complexe d'espèces (différents clades). Sous cet angle, **le statut des espèces proliférantes natives vs. introduites reste à déterminer** (cf. projet NET-BIOME, SEAPROLIF[2]).

Les algues rouges calcaires

Elles vivent principalement dans la zone tropicale. Elles ont une importance particulière en milieu corallien, puisqu'elles forment, avec les coraux, les bâtisseurs des récifs. En effet, ces algues ont la particularité de former un véritable squelette calcaire. Par accumulation, celui-ci participera à la formation des récifs, à contrario, leur dégradation en particules de calcaire alimentera les sables.

[2] Le projet NET-BIOME, SEAPROLIF a pour objectif de (i) déterminer l'état de prolifération des populations *d'Asparagopsis* en fonction de principaux paramètres de l'environnement et de l'habitat; (ii) dresser l'inventaire des organismes benthiques, et particulièrement des cnidaires, affectés par les proliférations et (iii) suivre dans certains sites ateliers l'évolution spatio-temporelle des populations. Cette étude se base sur l'échelle de l'aire de distribution du taxon. Une approche multi-sites dans trois océans et deux hémisphères (les iles portugaises des Azores et de Madère, La Réunion, La Nouvelle-Calédonie, La Polynésie française et la Guadeloupe, la Méditerranée).



Dans les zones où le ressac est important elles peuvent former d'épaisses accumulations et prendre alors la place des coraux, moins adaptés au mode battu. Dans les zones plus calmes entre 10 et 30 m de profondeur elles développent, avec d'autres algues calcaires, des colonies massives pouvant atteindre plusieurs dizaines de cm de diamètre sur les coraux morts ou de fines croûtes sous les surplombs.

Photo n°4 : Corallines

L'espèce *Trichogloea requienii*

C'est une algue rouge molle et visqueuse avec un thalle très ramifiées de taille allant jusqu'à 15 à 20 cm. Les zones blanches centrales sont des calcifications. Elles colonisent les récifs coralliens du lagon et de la pente externe entre 4 et 20 m de profondeur.

Photo n°5 : Trichogloea requienii

3.3.3 Les algues brunes ou Chromophytes

-Le genre *Sargassum*

Photo n°6 : Sargassum sp.

C'est une algue brune qui est le plus vouée à dériver par rupture du thalle cartilagineux et fragile. Elles constituent de grands radeaux algaux dérivant aux grés des courants marins. L'histoire de vie et la phénologie des espèces de *Sargassum* et leur dynamique de recrutement ont été intensivement étudiés [18 à 25]. Les espèces de *Sargassum* forment des algues jusqu'à 120 cm de longueur, qui se développent généralement dans les habitats semi-exposés dans les niveaux bathymétriques des récifs intertidaux à subtidaux [20, 26]. Ces habitats dont la canopée peut atteindre le mètre de haut jouent un rôle important voire essentiel pour le cycle biologique de différentes espèces d'animaux, de macro et microphytes en leur apportant substrat, protection contre la prédation et abondance en nourriture [27 à 30]. Ce sont des lieux de nurseries pour certains poissons [31] et abritent une grande diversité d'amphipodes, polychètes et gastéropodes [32 à 34].
D'autre part, la dérive et le flottement des frondes de *Sargassum* fournissent l'habitat pour les poissons juvéniles [35, 36] et fournissent une base pour la chaîne alimentaire pour les oiseaux marins pélagiques.

Le cycle de vie de la plupart des espèces de *Sargassum* se produit durant les mois de novembre-décembre et mai-juin et plus tard elles se détachent de leur habitat à cause de la sénescence (affaiblissement des fonctions vitales provoqué par le vieillissement).

Ces organismes renferment des composés phénoliques [37] intéressants les domaines cosmétiques et

pharmaceutiques (cf. programme AFD 'Substances marines actives') et sont également capables de biosorbtion de métaux lourds toxiques tels que Cd^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, ou encore Ni^{2+} [38, 39]. Une meilleure connaissance de la biomasse et de la répartition des sargasses est donc potentiellement très intéressante.

- **L'espèce *Lobophora variegata***

Photo n°7 : Lobophora variegata

C'est une algue brune qui développe des lames en forme d'éventail, de couleur brun doré, adhérant plus ou moins fortement au substrat en fonction de l'hydrodynamisme. À la face supérieure du thalle des lignes concentriques de couleur plus foncée indiquent la croissance marginale de l'algue ; on voit parfois également des lignes radiales ; les marges sont arrondies et légèrement incurvées. À la face inférieure on découvre des rangées concentriques de rhizoïdes par lesquels les algues sont fixées au substrat.
Dans les milieux calmes, les lames se développent sur les surfaces coralliennes mortes, entre les branches des coraux vivants et peuvent atteindre jusqu'à 10 cm d'envergure. **Dans la baie de Prony,** c'est l'algue brune, la plus commune. On la rencontre sur le platier, où elle tapisse la dalle corallienne, ou encore sur les massifs coralliens éparpillés sur la pente sédimentaire jusqu'à plus de 35 m de profondeur.
Cette espèce est en forte compétition spatiale avec les organismes benthiques et particulièrement les coraux. Son développement peut-être très important (voir envahissant sur le reste des communautés coralliennes). Cette espèce a été recensée ailleurs, jusqu'à 120 m de profondeur.
Lobo dans Millepora et Acropora branch

- **Le genre *Padina***

Photo n°8 : Padina sp.

Ce genre appartient à la famille des Dictyotaceae. Les thalles sont blanchis par le calcaire qu'ils contiennent formant des cercles concentriques (lames arrondies et flabellées). Les grosses stries parallèles correspondent à des rangées cellulaires marquant la croissance. Leur taille peut varier entre 5 et 10 cm et elles colonisent le lagon sur des substrats durs.

3.4 Particularités de la zone d'étude et des macrophytes

3.4.1 Réserves marines et caractère unique de la zone

Trois réserves naturelles marines sont localisées à proximité de la zone d'étude :

- deux dans la baie de Prony : la réserve naturelle saisonnière de Grand Port et la réserve naturelle de l'Aiguille de Prony,
- la troisième située à l'est du Canal de la Havannah (dans lequel s'effectue le rejet de l'effluent industriel de Vale Nouvelle-Calédonie) : la réserve naturelle intégrale Yves Merlet.

En juin 2008, six zones de la barrière de récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie ont été classées comme site naturel du Patrimoine mondial de l'Humanité par l'UNESCO. Des aires tampons ont été définies autour de ces zones. L'aire tampon de la zone du Grand lagon sud comprend la baie de Prony et le canal de la Havannah qui sont dans la zone d'influence du site industriel et minier de Vale Nouvelle-Calédonie [40].

3.4.2 Risques d'introduction et de diffusion d'espèces exogènes

Situées dans un environnement écologique unique et fragile, les activités minières et industrielles de la société Vale Nouvelle-Calédonie **génèrent un haut niveau de risque d'introduction, d'installation et de diffusion d'espèces exogènes** notamment par l'importance du trafic de marchandises (en particulier via le port international de Prony), par les nombreuses voies de pénétration ouvertes dans les milieux naturels, les perturbations importantes que ces derniers subissent et la présence sur le site d'une population mobile de plusieurs milliers de personnes [40].

Les espèces invasives peuvent réguler leur croissance et s'étendre dans leur nouvel habitat en causant des perturbations dans leur communauté biologique locale. Tous les taxons peuvent selon le contexte devenir une espèce invasive.

La notion écologique d'espèce invasive et d'espèce envahissante est récente : Pour la comprendre, il faut savoir que les équilibres entre espèces au sein des écosystèmes, à échelle de temps humaine au moins, sont relativement bien établis. Sans intervention humaine, les phénomènes d'extension brutale de l'aire de répartition d'une espèce (dite invasive) sont extrêmement rares. Les besoins des sociétés humaines conduisent à l'exploitation plus ou moins intense des écosystèmes et affectent la biodiversité.
Parfois elles colonisent simplement l'aire de répartition et la niche écologique d'espèces que l'homme a fait disparaître ou a affaiblies. Beaucoup d'espèces introduites, et notamment leurs stades larvaires, l'ont été involontairement : le ballastage et déballastage des navires de commerce, le transport par les coques de navires par exemple, sont un vecteur d'introduction d'espèces qui a d'abord été ignoré, puis sous-estimé, et contre lequel peu de mesures sont prises. Bien qu'elles aient existé depuis plusieurs siècles, les invasions biologiques en milieu marin se sont considérablement accélérées durant les dernières décennies suite à l'accroissement du trafic maritime à travers les océans et aux transferts intercontinentaux d'espèces à des fins d'aquaculture.

Les collectivités françaises d'outre-mer hébergent une biodiversité exceptionnelle. Mais, de par leur caractère principalement insulaire, elles sont également très vulnérables aux introductions d'espèces. Avec l'arrivée de l'homme et la multiplication des échanges, de nombreuses espèces végétales et animales ont été introduites (par exemple : 1 200 espèces de plantes aux Antilles, 1 400 en Nouvelle-Calédonie, 1 700 en Polynésie française et 2 000 à La Réunion). Certaines se sont révélées agressives et envahissantes, causant des dégâts écologiques importants pouvant s'accompagner de conséquences économiques et sanitaires.

De manière générale, les régions où les écosystèmes ont subi un traumatisme environnemental, présentent un habitat ouvert donnant accès à leurs ressources et permettant aux espèces invasives et aux espèces envahissantes de s'établir.

3.4.3 Menaces des macrophytes sur la diversité biologique

Les proliférations de macro-algues dans les écosystèmes littoraux des zones tropicales et subtropicales sont une menace sérieuse pour la diversité biologique de ces milieux. En particulier dans les récifs coralliens où la compétition entre les algues et les coraux peut modifier la structure et le fonctionnement des écosystèmes ainsi que la matrice paysagère. Ces effets peuvent remettre en question les biens et les services rendus aux nombreuses populations humaines qui dépendent de ces systèmes côtiers. L'origine et les mécanismes de ces proliférations sont mal connus et le nombre d'espèces impliquées très mal documenté (cf. programme en cours ERA-NET NETBIOME sur le caractère néfaste de l'algue rouge du genre *Asparagopsis* sur les coraux. Ce genre est répertorié sur la liste IUCN parmi les espèces introduites et invasives dans les zones subtropicales et tempérées).

3.4.4 Les assemblages des biocénoses marines en équilibre avec les paramètres physico-chimiques du milieu

La composition spécifique des organismes benthiques dans un milieu reflète les conditions environnementales de ce dernier. Les coraux, les autres invertébrés ainsi que les macrophytes se sont adaptés aux conditions environnementales par la sélection d'espèces colonisant les milieux fortement agités pour le canal de la Havannah (courant de marée, houle et ressac) et le canal Woodin (principalement courant de marée) et pour les milieux calmes en baie de Prony (dessalure des eaux de surface et sédimentation importante).

Les assemblages des biocénoses marines de ces trois sites sont donc différents et chacun est en équilibre avec les paramètres physico-chimiques du milieu.
Malgré l'adaptation des espèces aux paramètres environnementaux de chaque biotope, des évènements exceptionnels (climatiques, dépressionnaires et activités anthropiques) font généralement dépasser les seuils de tolérance de survie pour les espèces les plus sensibles (force d'arrachement, augmentation de température, augmentation de turbidité…).

3.4.4.1 Canal de la Havannah et canal Woodin

C'est un milieu ouvert caractérisé par de forts courants de marée et du ressac.
Les principales dégradations sont d'origine mécanique : nombreux débris, mortalité importante et blanchissement corallien induit par les effondrements, balayage et arrachement au sommet des récifs. Malgré les courants de marée conséquents dans le canal Woodin, les dégradations mécaniques sont moindres que dans le canal de la Havannah car les récifs sont moins exposés au ressac et à la houle.

Concernant les macrophytes, dans ces deux sites les forces d'arrachement sont très importantes et contribuent à la présence/absence ainsi qu'à l'abondance de toutes les espèces végétales (algues vertes, brunes et rouges).

3.4.4.2 Baie de Prony

C'est un milieu calme et protégé.
Les principales dégradations sont originaires soit d'une dessalure des eaux de surface et/ou soit d'apport de matières en suspension (MES).
La dessalure des eaux de surface perturbe particulièrement les niveaux bathymétriques supérieurs des récifs frangeant à proximité des embouchures des creeks, des rivières et des résurgences d'eau douce. Les colonies coralliennes blanchissent sur place et la mortalité corallienne peut être importante.
L'apport de MES dans la colonne d'eau est conséquent et influe sur la pénétration de la lumière et la sédimentation. Le dépôt sédimentaire est observé surtout sur les niveaux bathymétriques inférieurs où les particules terrigènes ne sont plus remobilisées. La sédimentation va influencer la spécification des espèces car peu d'espèces vont être capables de résister au dépôt sédimentaire. La compétition spatiale entre les algues et les coraux est alors très importante et les algues peuvent prendre rapidement le dessus et envahir l'ensemble du substrat.

3.5 Les cyanobactéries

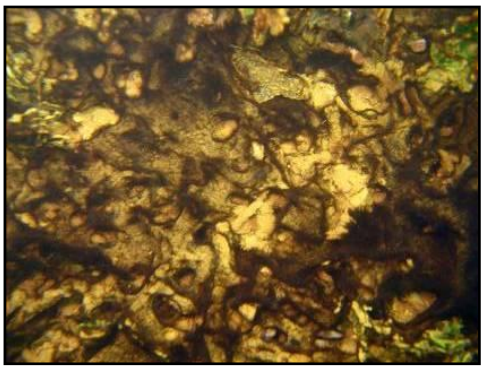
Les cyanobactéries appartiennent au domaine des bactéries. Ce sont des procaryotes photosynthétiques, c'est à dire qu'elles utilisent comme source d'énergie, l'énergie lumineuse (oxydation de l'eau en oxygène au cours de la photosynthèse).
Les cyanobactéries ont pour seul point commun avec les végétaux cette photosynthèse de type « plante » (avec des pigments), ce qui leur a valu pendant longtemps d'être classées dans les algues (algues bleu-vert, cyanophycées)[3].

Certaines sont unicellulaires, sphériques ou en bâtonnets et se multiplient par divisions binaires, d'autres sont filamenteuses ou en forme de pompon et se propagent par rupture du filament végétatif ou par germination

[3] Elles ont d'ailleurs été comptées dans la composante « algues filamenteuses » pour les résultats LIT.

des akinètes (spores).
Cette hétérogénéité leur a permis de coloniser la grande majorité des écosystèmes terrestres ou aquatiques, ainsi que les milieux extrêmes chauds, salés, hypersalés et alcalins.

Les cyanobactéries peuvent se maintenir tout au long de l'année et de nombreuses espèces n'apparaissent qu'en été lorsque la température des eaux superficielles augmente. Pendant la saison froide, leur disparition n'est qu'apparente car les cellules végétatives subissent diverses différenciations conduisant à des formes de repos ou de résistance. À cet égard, les vases et sédiments constituent une banque de semences qui favorise de nouvelles proliférations dès que les conditions climatiques redeviennent favorables. Lors de périodes plus chaudes et moins venteuses, les efflorescences de cyanobactéries apparaissent et disparaissent à plusieurs reprises. À cette distribution spatiale des températures s'ajoute celle de la lumière qui est la source même d'énergie pour la photosynthèse.
Un éclairement faible tend à les faire remonter en surface alors qu'un éclairement plus fort les incite à vider leurs ballasts ou à écraser les vacuoles à gaz par turgescence cellulaire.



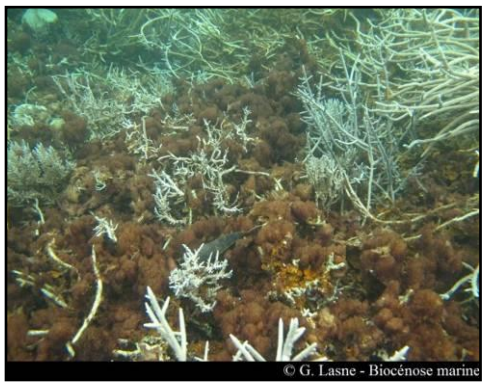


Photo n°9 : Tapis de cyanobactéries filamenteuse (Phormidium sp.) et en forme de pompon (Symploca hynoides)

Des proliférations de cyanobactéries apparaissent de manière épisodique ou régulière dans de nombreux biotopes. Dans tous les cas, ces proliférations sont le signe d'une eutrophisation du milieu (milieu riche en composés organiques, teneurs excessives en azote et phosphore).
Ces proliférations sont potentiellement productrices de diverses toxines. Il a été découvert récemment que les cyanobactéries jouent un rôle important dans les intoxications alimentaires causées par les produits de la mer, en particulier concernant l'intoxication par la chair de bénitier. Des études menées par l'IRD à Raivavae en Polynésie française et à Lifou en Nouvelle-Calédonie, ont révélé que des toxines d'origine cyanobactérienne peuvent s'introduire directement dans la chaîne alimentaire via les mollusques (comme le bénitier), les poissons brouteurs (comme le perroquet) ou indirectement via les poissons qui ingèrent des mollusques.
Leur effet sur les récifs coralliens peut être désastreux et justifie que l'on s'en inquiète. En faible proportion, les cyanobactéries ne sont pas particulièrement gênantes pour la faune, cependant si leur concentration augmente, les toxines (cyanotoxines) libérées dans l'environnement ont des répercussions sur l'ensemble des communautés coralliennes (mortalité des espèces benthiques, diminution de la croissance des coraux, diminution du recouvrement corallien, ciguatéra…).

3.6 Les saisons en Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie, située juste au nord du tropique du Capricorne, subit les influences tropicales et tempérées plus ou moins fortement selon les saisons. Leurs effets sont toutefois limités par l'environnement maritime et la présence quasi permanente de l'alizé [41, *pour tout le §*].

Deux saisons principales peuvent être distinguées :

- **La saison chaude :**

Centrée sur le premier trimestre, l'influence tropicale est prédominante et le temps rythmé par la position de la Zone de Convergence du Pacifique Sud (ZCPS) et de la Zone de Convergence InterTropicale (ZCIT), ainsi que par les trajectoires des dépressions tropicales.

Les précipitations sont abondantes et les températures moyennes sont élevées bien que les extrêmes soient limités par l'influence maritime et l'alizé. La Nouvelle-Calédonie se trouve dans une région très touchée par les dépressions tropicales qui sont à l'origine de dégâts très importants.

- **La saison fraîche :**

De juin à septembre, la ZCIT se trouve dans l'hémisphère nord et la ZCPS se décale vers le nord-est.
Les perturbations des régions tempérées remontent vers le nord et les fronts froids associés peuvent affecter la Nouvelle-Calédonie où ils se manifestent par des précipitations et parfois des "coups d'ouest". Ces épisodes perturbés interrompent un temps généralement sec et frais avec des températures minimales relativement basses en certaines régions.

Cependant, la transition entre ces deux saisons n'est pas toujours évidente à distinguer et deux autres saisons viennent ainsi s'intercaler entre les premières :

- **La saison sèche :**

D'août à novembre, elle est à cheval entre la saison fraîche et la saison chaude. Cette partie de l'année se caractérise par des précipitations très faibles associées à des températures fraîches la nuit, mais de plus en plus élevées la journée sous l'action du rayonnement solaire qui atteint son maximum en décembre. L'évapotranspiration très importante n'est pas compensée par les maigres précipitations et les feux de brousse se propagent facilement sur une végétation déshydratée sous l'action d'un alizé renforcé par les brises thermiques. Le retour des précipitations est donc très attendu mais il peut être dramatiquement retardé pendant les épisodes El Niño.

- **La saison humide :**

En fin de saison chaude/début de saison fraîche, la température de l'eau de mer encore chaude peut favoriser la formation d'épisodes pluvio-orageux importants, voire de dépressions subtropicales.

3.7 Facteurs climatiques exceptionnels en Nouvelle-Calédonie, sur la période d'étude

3.7.1 Les facteurs environnementaux exceptionnels entre 2007 et 2012

En début d'année 2007

« **Becky** » : dépression tropicale forte du 25 mars 2007 au 29 mars 2007 qui a touché Maré, Lifou et le sud de la Grande Terre (Grosse mer et fortes pluies : 105 mm à Goro).

En début d'année 2009

« **Jasper** » : dépression tropicale forte du 22 au 26 mars 2009 qui a touché principalement le nord de la Grande Terre.

En début d'année 2011

Evènements dépressionnaires :
« **Vania »** : dépression tropicale forte du 8 et 16 janvier 2011 qui a touché le sud du Territoire le 14 et 15 janvier 2011 (fortes précipitations et inondations : pluies en 24h : 450 mm à Goro - Station Vale NC).
« **Zelia »** : cyclone tropical du 14 au 17 janvier 2011 qui est passé au large du sud de la Nouvelle-Calédonie (grosse mer et fortes pluies).

Phénomène climatique (la Niña) :
La Niña a pour conséquence une anomalie positive de températures des eaux de surface et une anomalie négative de salinité (abondance des précipitations) sur une longue période de 3 ou 4 mois. En début d'année 2011, ces anomalies ont influencé toute la zone d'étude, particulièrement dans les petites profondeurs et l'anomalie de salinité était d'autant plus importante aux embouchures des creeks et des rivières. Les colonies coralliennes les plus sensibles s'édifiant aux sommets des récifs ont ainsi expulsé leurs zooxanthelles (phénomène de blanchissement très important).

3.7.2 Superposition des facteurs environnementaux

Les évènements dépressionnaires du début d'année 2011 (Vania et Zelia) se sont superposés au phénomène climatique « La Niña ».

Les vents violents ont généré dans le canal de la Havannah une forte houle, un ressac très important et des courants de marée supérieurs à la normale. Ces agents hydrodynamiques exceptionnels ont entrainé une dégradation mécanique sans conteste sur le sommet des récifs, arasant les biocénoses benthiques les plus fragiles, arrachant des colonies coralliennes et créant des effondrements de blocs et de débris le long des pentes récifales et du blanchissement corallien sur les colonies dégradées et/ou perturbées.

D'autre part, les précipitations induites par les dépressions et le phénomène la Niña, étaient également bien au-dessus des normales saisonnières et très abondantes sur une courte période. Ceci a généré une dessalure importante des eaux de surface dans toute la zone et particulièrement à proximité des creeks et des rivières en baie de Prony (milieu par ailleurs très protégé des vents et des agents hydrodynamiques).

4 Résultats pour les macrophytes

Rappel méthodologique : les macrophytes dans leur globalité sont étudiées à travers deux protocoles différents (cf. § 2) :

- *le LIT,*
- *la méthode du couloir.*

La première méthode donne des résultats globaux pour les macrophytes sans distinction entre les 3 grands différents groupes d'algues (cf. § 3.1 : Chlorophytes, Rhodophytes et Chromophytes), acce cependant une motion particulière pour les cyanobactéries.
Les résultats issus de cet échantillonnage sont donc présentés dans le présent paragraphe et § 8.2.

La deuxième méthode permet d'obtenir des données de précision au niveau de la richesse spécifique et de l'abondance de chaque taxon.
Les résultats issus de cet échantillonnage sont donc présentés dans le présent paragraphe ainsi que dans tous les suivants.

4.1 Méthode du couloir

Les valeurs de richesse spécifique des macrophytes selon des différentes transects (biodiversité α) pour toutes les missions de 2007 à 2012 sont résumées dans le tableau 05 et présentées graphiquement sur la figure 02.

Tableau n°5 : Biodiversité α des macrophytes pour tous les transects à chaque mission

Biodiversité α Macrophytes	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	7	8	7	7	6	7	8	6
ST01B	7	9	7	8	6	7	8	8
ST02A	5	5	5	5	5	7	7	7
ST02B	5	5	5	5	5	6	5	3
ST03A	8	7	6	8	8	9	5	4
ST03B	6	5	5	5	5	4	4	4
ST03C	5	5	5	5	5	4	4	4
ST04A	7	5	4	4	5	7	5	4
ST04B	4	3	3	3	3	4	5	4
ST04C	1	1	1	1	1	2	2	2
ST05A	6	4	4	5	5	5	5	4
ST05B	3	2	2	1	4	2	2	3
ST05C	1	1	2	2	2	2	2	2
ST06A	3	5	2	6	6	8	9	7
ST06B	5	7	4	7	5	7	9	6
ST06C	5	7	3	4	3	4	7	3
ST07A	4	3	2	4	7	6	5	4
ST07B	4	2	0	2	4	4	2	2
ST07C	3	4	0	0	0	1	4	1
ST08A	8	9	6	5	5	7	8	4
ST08B	6	10	4	4	4	5	7	2

ST09A	10	7	5	4	6	6	8	7
ST09B	13	9	8	9	9	6	11	8
ST09C	12	9	9	7	11	11	12	6
ST10A	7	8	6	7	7	8	4	3
ST10B	3	4	4	4	4	5	5	3
ST10C	1	2	2	1	1	3	4	1
ST11A	6	7	3	3	7	7	11	5
ST11B	9	8	6	6	5	4	4	4
ST11C	3	6	3	1	2	4	3	2
ST12A	4	3	4	4	3	7	*4,16*	*4,16*
ST12B	3	0	3	2	2	6	*2,66*	*2,66*

Deux tests peuvent alors être réalisés sur ces résultats de richesses spécifiques.

4.1.1 Analyse de variance

Les résultats d'une ANOVAR sur le tableau 05 sont présentés ci-dessous : **l'analyse des variances de la richesse spécifique des macrophytes pour les 8 campagnes ne montre pas de similarité, même pour une valeur de F à 99%.**

k1=p-1	7	F obs. (Biodiversité)	2,39
K2=n-p	248	F95%	2.05
		F99%	2.34

Tableau n°6 : *Analyse de la Variance de la richesse spécifique des macrophytes pour tous les transects selon les missions*

ANOVAR de la richesse spécifique des macrophytes	**03/12**	**09/11**	**03/11**	**09/10**	**03/10**	**06/09**	**10/08**	**08/07**
Richesse spécifique moyenne	5,44	5,31	4,06	4,34	4,72	5,47	5,68	4,06
Ecart type	2,91	2,74	2,17	2,34	2,37	2,23	2,77	1,94
Intervalle de confiance (IC:0,95)	1,01	0,95	0,75	0,81	0,82	0,77	0,96	0,67
Coefficient de Variation	0,53	0,52	0,53	0,54	0,50	0,41	0,49	0,48
n	32	32	32	32	32	32	32	32

L'ANOVAR n'accrédite pas l'hypothèse d'identité Ho : les 8 séries ont des variances différentes. Il y a des différences entre les années, du point de vue quantitatif puisque les structures sont les mêmes. Le protocole n'a jamais évolué pour les macrophytes, seules les variations saisonnières ou les perturbations induites par une dépression sont donc enregistrées (cf. figure 01).

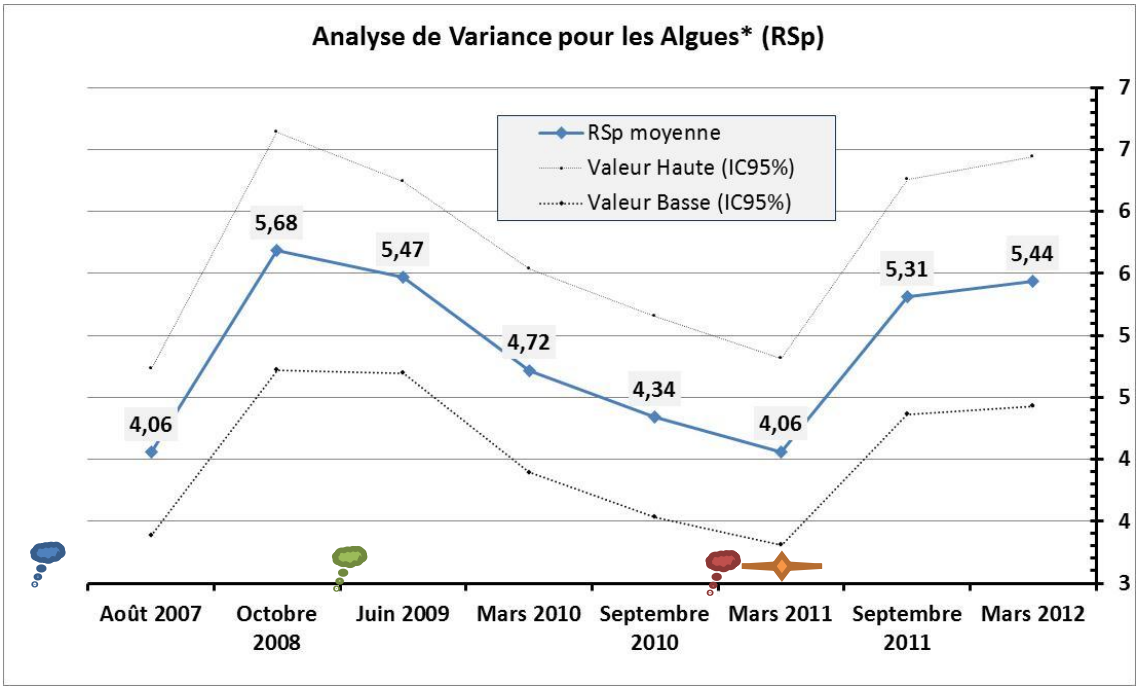


Figure n°1 : Valeur de la richesse spécifique moyenne des macrophytes
Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance. Les nuages sur l'axe des abscisses indiquent les évènements dépressionnaires (nuage bleu : Becky du 25 au 29 mars 2007; nuage vert : Jasper du 22 au 26 mars 2009; nuage rouge : Vania 8 et 16 janvier 2011 et Zelia du 14 au 17 janvier 2011) et l'étoile orange indique le phénomène climatique la Niña.

4.1.2 Test de Friedman

Il devient alors intéressant de voir s'il y a un classement des séries au cours du temps et le test de Friedman permet de répondre à ce questionnement. On considèrera le tableau 05 en classant les valeurs en ligne (de 1 à 8).

Tableau n°7 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique des macrophytes pour toutes les missions

KHI 2 obs.	28.4			
ddl= 7	Khi² 95%	Khi² 97,5%	Khi² 99%	Khi² 99,5%
Valeur Khi²	14.067	16.013	18.475	20.278

L'Ho d'identité de colonnes n'est pas vérifiée. Le rejet est conséquent et ce test montre que des variations de biodiversité existent entre les missions. La diversité des macrophytes montre des évolutions dans le temps (saisonnalité et phénomène d'arrachement par les évènements exceptionnels).

Tableau n°8 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des macrophytes pour toutes les missions

	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
ST01A	4,5	7,5	4,5	4,5	1,5	4,5	7,5	1,5
ST01B	3	8	3	6	1	3	6	6
ST02A	3	3	3	3	3	7	7	7
ST02B	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	8	4,5	1
ST03A	6,5	4	3	6,5	6,5	6,5	1,5	1,5
ST03B	8	5,5	5,5	5,5	5,5	2	2	2
ST03C	6	6	6	6	6	2	2	2
ST04A	7,5	5	2	2	5	7,5	5	2

ST04B	6	2,5	2,5	2,5	2,5	6	8	6
ST04C	3	3	3	3	3	7	7	7
ST05A	8	2	2	5,5	5,5	5,5	5,5	2
ST05B	6,5	3,5	3,5	1	8	3,5	3,5	6,5
ST05C	1,5	1,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
ST06A	1,5	4	1,5	4	4	7	8	6
ST06B	2	6	2	6	2	6	8	4
ST06C	5	7,5	2	5	2	5	7,5	2
ST07A	4	1,5	1,5	4	8	7	6	4
ST07B	7	3,5	1	3,5	7	7	3,5	3,5
ST07C	7	7	3	3	3	3	7	3
ST08A	7	7	4	2	2	5	7	2
ST08B	6	8	3	3	3	5	7	1
ST09A	8	6	1,5	1,5	3,5	3,5	6	6
ST09B	8	4	4	4	4	1	7	4
ST09C	6,5	3,5	3,5	1,5	6,5	6,5	6,5	1,5
ST10A	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	1,5	1,5
ST10B	1,5	4,5	4,5	4,5	4,5	7,5	7,5	1,5
ST10C	2,5	5,5	5,5	2,5	2,5	7	8	2,5
ST11A	3,5	6	1,5	1,5	6	6	8	3,5
ST11B	7,5	7,5	5,5	5,5	4	2	2	2
ST11C	5,5	8	5,5	2	2	5,5	5,5	2
ST12A	5	1,5	5	5	1,5	8	5	5
ST12B	4,5	1	4,5	4,5	4,5	8	4,5	4,5
(∑Rg)	165,5	153,5	112,5	124	133	173,5	180,5	109,5
Ordonnancement	6	5	2	3	4	7	8	1

Le test de Friedman permet de classer les années les unes par rapport aux autres (cf. tableau 08) et **il apparait que les périodes les moins diversifiées pour l'ensemble des macrophytes sont l'hiver austral (août 2007 et septembre 2010) et la période (mars 2011) précédant deux évènements dépressionnaires couplés au phénomène climatique la Niña**.

4.2 Méthode du LIT

Les données récoltées entre août 2007et mars 2012 en ce qui concerne le recouvrement des macrophytes (en %) sont synthétisées dans le tableau 09 et la figure 03.

Tableau n°9 : Recouvrement en agrophytes (%) pour tous les transects à chaque mission

Recouvreent (%) Macrophytes	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	1	0,5	1	2,5	1,5	3	13	7
ST01B	3,5	1	7	3,5	5	9	10,5	10
ST02A	31,5	24,5	50,5	13	16	32,5	34	21
ST02B	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0
ST03A	9	6,5	20,5	3	14	2,5	2	1
ST03B	8,5	40,5	51	7,5	7	43	17,5	22,5
ST03C	3	3,5	5,5	1,5	1,5	1	3	3
ST04A	0,5	0	0	0	0,5	1,5	3	3
ST04B	0	0	0	0	0	0	0	0
ST04C	0	0	0	0	0	0	0	0
ST05A	0	0	0,5	0	0	0	0	0

ST05B	0	0	0	0	0	0	0	0
ST05C	0	0	0	0	0	0	0	0
ST06A	16	23	1,5	2	0,5	4	56	0,5
ST06B	1,5	20	0	2,5	0,5	6,5	29,5	0
ST06C	25,5	29	0,5	11	1	0,5	2	0
ST07A	23	28	3	3,5	3,5	1	2,5	0,5
ST07B	18	18,5	0	0	0	2,5	5	0
ST07C	3	1	0	0	0	0	0,5	0
ST08A	1	4	6,5	4	2,5	2,5	5,5	0
ST08B	0,5	1,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0
ST09A	4	9,5	5,5	3	2	1	5	1,5
ST09B	13,5	4,5	3,5	2,5	0,5	0,5	7,5	1,5
ST09C	24,5	6	2	3	2,5	4	6	1
ST10A	0,5	3	1	1,5	1	0	0,5	0
ST10B	0	0	0	0	0	0	0	0
ST10C	0	0,5	0	0	0	0	1	0
ST11A	8,5	21	6	0	2,5	2	4,5	0
ST11B	3	14,5	7	0,5	0	1	15	0
ST11C	9	11,5	2	0	0	2	3,5	0
ST12A	0	0	0	0	0	0	*0*	*0*
ST12B	0	0	0	0	0	0	*0*	*0*

Il existe de nombreuses fluctuations dans le recouvrement des algues sur les stations selon les missions, mais sans que cela soit systématiquement explicable et surtout sans effet négatif à priori sur les communautés coralliennes.
On peut cependant noter, que ce ne sont pas les mêmes types selon les stations : ainsi les stations dans la baie de Prony (ST01, ST02 et ST03) voient plutôt des recouvrements par des assemblages de macro algues alors que pour celles situées dans le canal de la Havannah (exposées) et particulièrement Ionontea (ST06) et Chambeyron (ST07), ce sont des algues calcaires (type corallines) qui sont majoritairement présentes.
Les stations de Woodin (ST04), Ioro (ST05), îlot Kié (ST10) et Ugo (ST12) ne comptent quasiment pas d'algues en recouvrement sous le transect.

4.3 Conclusion (macrophytes)

Des variations de diversité ont lieu selon les missions mais toutes ces fluctuations n'ont peut-être aucune explication rationnelle compte tenu que ces variations ne sont pas répétées toutes les années et que les intervalles de confiance sont importants.

Ces relevés reprennent l'ensemble des données de diversité des algues vertes, rouges et brunes. Hors le cycle de développement de ces algues n'est pas le même durant l'année. La périodicité des missions est trop longue (semestrielle depuis 2010 : septembre et mars) par rapport au cycle de développement des macrophytes et ne permet pas d'enregistrer l'ensemble des variations et les amplitudes maximales et minimales de richesse spécifique et d'abondance.

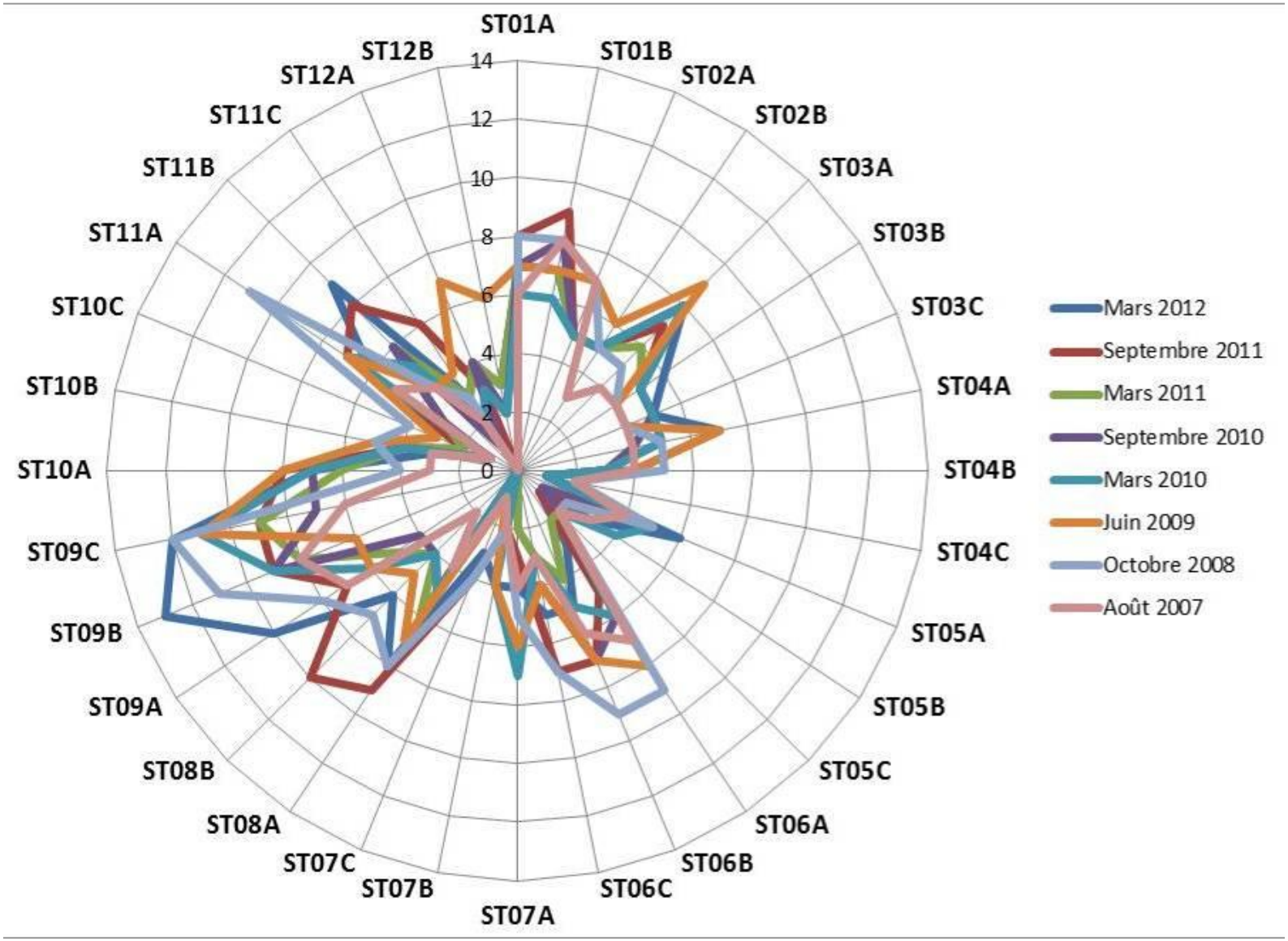


Figure n°2 : Richesse spécifique des algues pour toutes les transects, à chaque mission

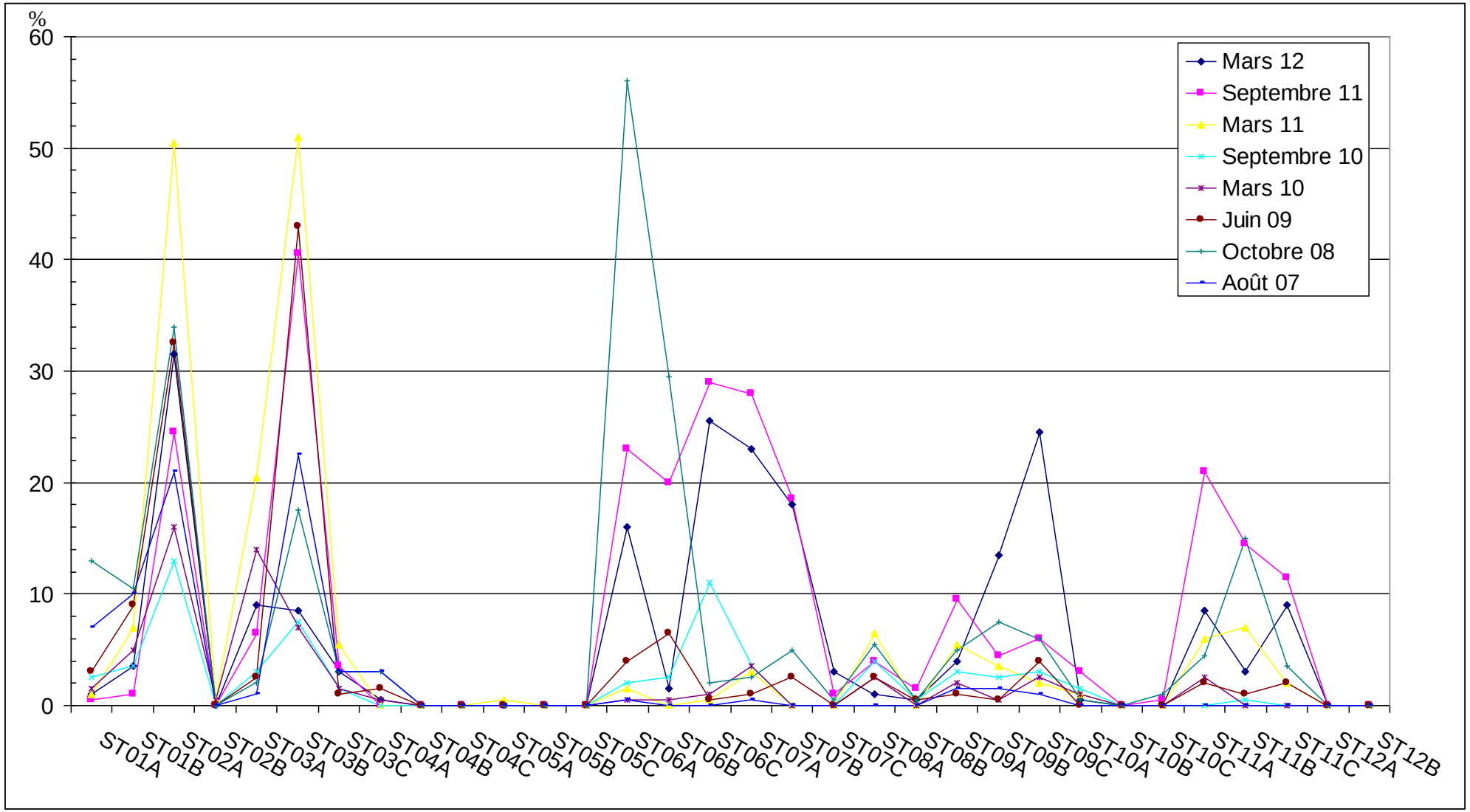


Figure n°3 : Recouvrement des macrophytes (%), pour tous les transects, à chaque mission

5 Résultats pour les algues vertes

Rappel : ces résultats sont obtenus par la méthode du couloir.

Les valeurs des biodiversités α et d'abondance des algues vertes selon les différentes transects pour toutes les missions de 2007 à 2012 sont résumées dans les tableaux 10 et 11 respectivement.
L'abondance est aussi représentée graphiquement sur la figure 05.

Tableau n°10 : Valeur de la richesse spécifique des algues vertes pour tous les transects à chaque mission

Biodiversité Algues vertes	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	2	1	1	1	5	2	1	1
ST01B	2	2	1	1	5	2	1	2
ST02A	3	3	3	3	1	4	4	5
ST02B	3	3	3	3	1	3	2	1
ST03A	4	3	2	4	3	5	3	2
ST03B	3	2	2	2	2	2	2	2
ST03C	2	2	2	2	2	2	2	2
ST04A	5	4	3	3	0	6	4	3
ST04B	2	2	2	2	0	3	4	3
ST04C	0	0	0	0	0	1	1	1
ST05A	4	3	3	3	1	2	2	2
ST05B	2	1	1	0	1	1	1	1
ST05C	0	0	1	1	0	1	1	1
ST06A	0	1	0	2	1	2	2	2
ST06B	1	1	1	2	0	3	3	2
ST06C	1	1	0	1	0	1	1	2
ST07A	2	1	1	3	1	3	2	2
ST07B	2	0	0	0	1	2	0	1
ST07C	1	1	0	0	0	0	1	0
ST08A	3	3	2	1	1	2	2	1
ST08B	1	2	0	0	1	0	1	0
ST09A	7	4	4	2	1	3	4	3
ST09B	11	6	6	6	0	4	4	3
ST09C	10	7	7	5	0	9	6	3
ST10A	6	6	5	5	0	6	1	1
ST10B	2	1	3	3	0	4	2	1
ST10C	0	0	1	0	0	2	0	0
ST11A	4	4	1	1	0	5	6	3
ST11B	4	4	3	3	0	1	1	1
ST11C	1	2	0	0	1	2	1	1
ST12A	3	2	3	3	0	3	*2,33*	*2,33*
ST12B	2	0	3	2	0	2	*1,5*	*1,5*

Tableau n°11 : Valeur d'abondance des algues vertes pour tous les transects à chaque mission

Abondance Algues vertes	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	2	2	2	2	2	2	2	3
ST01B	2	2	2	2	2	2	2	2
ST02A	3	3	2	2	2	5	5	4
ST02B	4	2	2	2	2	3	3	4
ST03A	4	4	3	3	3	5	5	4
ST03B	3	3	2	2	2	4	3	3
ST03C	2	2	2	2	2	3	2	1
ST04A	2	2	2	2	2	4	5	4
ST04B	2	2	2	2	2	2	3	4
ST04C	0	0	0	0	0	2	2	2
ST05A	2	2	2	2	2	2	2	2
ST05B	2	2	2	0	2	2	2	2
ST05C	0	0	1	1	1	1	2	2
ST06A	0	2	0	3	3	3	3	3
ST06B	3	2	2	2	2	2	3	2
ST06C	2	2	0	2	3	3	3	1
ST07A	2	2	2	2	2	2	3	2
ST07B	2	0	0	0	2	2	0	1
ST07C	2	2	0	0	0	0	2	0
ST08A	3	5	2	2	2	3	3	2
ST08B	2	5	0	0	0	0	2	0
ST09A	4	4	5	5	5	5	5	3
ST09B	5	5	3	3	5	2	5	3
ST09C	5	4	4	4	5	5	5	2
ST10A	3	2	2	2	2	4	3	2
ST10B	2	2	3	3	3	3	4	1
ST10C	0	0	1	0	0	2	0	1
ST11A	3	5	2	2	2	2	3	3
ST11B	3	4	2	2	2	2	2	2
ST11C	1	3	0	0	0	4	3	2
ST12A	2	2	2	2	2	2	2	2
ST12B	2	0	2	2	2	2	1,66	1,66

5.1 Analyse de variance (Chlorophytes)

Les résultats d'une ANOVAR sur ces tableaux (10 et 11) de biodiversité α et d'abondance des algues vertes sont présentés ci-dessous :

k1=p-1	7	F obs. (Biodiversité)	4.05
		F obs. (Abondance)	2.82
K2=n-p	248	F95%	2.05
		F99%	2.71

Les analyses des variances de la richesse spécifique et de l'abondance des algues vertes pour les 8 campagnes ne montrent pas de similarité, même pour une valeur de F à 99%.

Tableau n°12 : Analyse de la Variance de la richesse spécifique des algues vertes pour tous les transects à chaque mission

ANOVAR de la richesse spécifique des algues vertes	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
Richesse spécifique moyenne	2,91	2,25	2,00	2,00	0,88	2,75	2,15	1,74
Ecart type	2,61	1,83	1,78	1,61	1,31	1,90	1,53	1,08
Intervalle de confiance (IC:0,95)	0,90	0,63	0,62	0,56	0,46	0,66	0,53	0,37
Coefficient de Variation	0,90	0,81	0,89	0,80	1,50	0,69	0,71	0,62
n	32	32	32	32	32	32	32	32

Tableau n°13 : Analyse de la Variance de l'abondance des algues vertes pour tous les transects à chaque mission

ANOVAR de l'abondance des algues vertes	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
Richesse spécifique moyenne	2,31	2,41	1,75	1,81	2,06	2,66	2,83	2,21
Ecart type	1,28	1,50	1,19	1,20	1,29	1,31	1,33	1,10
Intervalle de confiance (IC:0,95)	0,44	0,52	0,41	0,42	0,45	0,45	0,46	0,38
Coefficient de Variation	0,55	0,62	0,68	0,66	0,63	0,49	0,47	0,50
n	32	32	32	32	32	32	32	32

L'ANOVAR n'accrédite pas l'hypothèse d'identité Ho : les 8 séries (de biodiversité et d'abondance) ont des variances différentes. Il y a des différences entre les missions, du point de vue quantitatif puisque le protocole n'a jamais évolué. Pour les algues vertes, seules les variations saisonnières ou les évènements climatiques et dépressionnaires sont donc susceptibles d'être enregistrées.

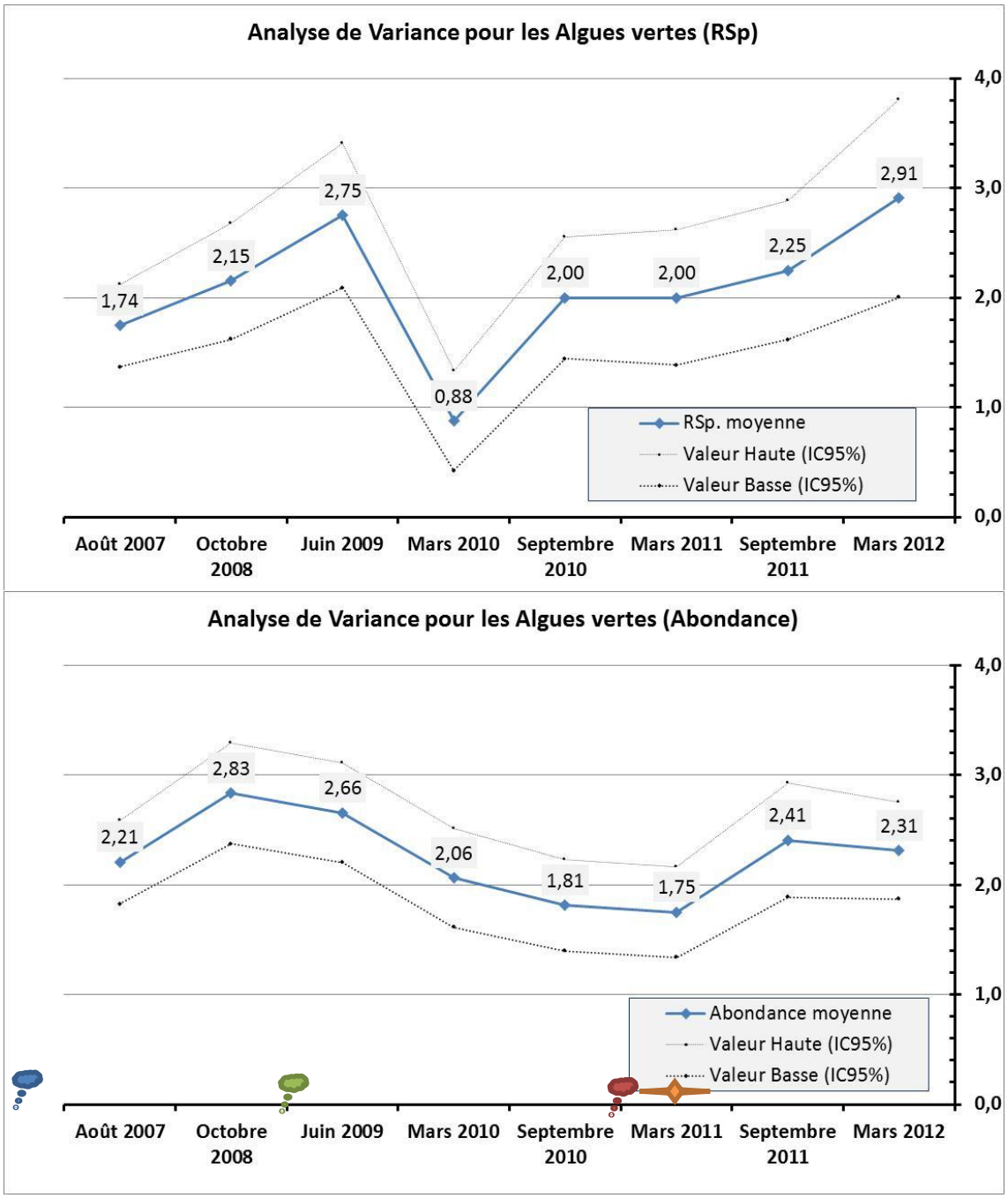


Figure n°4 : Valeurs de la richesse spécifique moyenne et de l'abondance moyenne des algues vertes

Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance. Les nuages sur l'axe des abscisses indiquent les évènements dépressionnaires (nuage bleu : Becky du 25 au 29 mars 2007; nuage vert : Jasper du 22 au 26 mars 2009; nuage rouge : Vania 8 et 16 janvier 2011 et Zelia du 14 au 17 janvier 2011) et l'étoile orange indique le phénomène climatique la Niña.

5.2 Test de Friedman (Chlorophytes)

Il devient alors intéressant de voir s'il y a un classement des séries au cours du temps et le test de Friedman permet de répondre à ce questionnement. On considèrera les tableaux 10 (biodiversité) et 11 (abondance) en classant les valeurs en ligne (de 1 à 8).

Tableau n°14 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique et de l'abondance des algues vertes pour toutes les missions

KHI 2 obs. (Biodiversité)	34.6			
KHI 2 obs. (Abondance)	32.3			
ddl= 7	Khi² 95%	Khi² 97,5%	Khi² 99%	Khi² 99,5%
Valeur Khi²	14.067	16.013	18.475	20.278

L'Ho d'identité de colonnes n'est pas vérifiée. Le rejet est important : **ce test montre que des variations de biodiversité et d'abondance existent entre les missions mais les intervalles de confiances sont importants. La diversité et l'abondance des algues vertes montrent des évolutions dans le temps mais il n'apparait pas de similitude concernant les évènements dépressionnaires ni les cycles saisonniers des genres les plus abondants.**

Tableau n°15 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des algues vertes pour chaque mission

	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
ST01A	6,5	3	3	3	8	6,5	3	3
ST01B	5,5	5,5	2	2	8	5,5	2	5,5
ST02A	3,5	3,5	3,5	3,5	1	6,5	6,5	8
ST02B	6	6	6	6	1,5	6	3	1,5
ST03A	6,5	4	1,5	6,5	4	8	4	1,5
ST03B	8	4	4	4	4	4	4	4
ST03C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST04A	7	5,5	3	3	1	8	5,5	3
ST04B	3,5	3,5	3,5	3,5	1	6,5	8	6,5
ST04C	3	3	3	3	3	7	7	7
ST05A	8	6	6	6	1	3	3	3
ST05B	8	4,5	4,5	1	4,5	4,5	4,5	4,5
ST05C	2	2	6	6	2	6	6	6
ST06A	1,5	3,5	1,5	6,5	3,5	6,5	6,5	6,5
ST06B	3	3	3	5,5	1	7,5	7,5	5,5
ST06C	5	5	1,5	5	1,5	5	5	8
ST07A	5	2	2	7,5	2	7,5	5	5
ST07B	7,5	2,5	2,5	2,5	5,5	7,5	2,5	5,5
ST07C	7	7	3	3	3	3	7	3
ST08A	7,5	7,5	5	2	2	5	5	2
ST08B	6	8	2,5	2,5	6	2,5	6	2,5
ST09A	8	6	6	1,5	1,5	3,5	6	3,5
ST09B	8	5	5	5	1	5	5	2
ST09C	8	5,5	5,5	3,5	1	7	3,5	2
ST10A	6	6	6	6	2	6	2	2
ST10B	4,5	2,5	6,5	6,5	1	8	4,5	2,5
ST10C	3,5	3,5	7	3,5	3,5	8	3,5	3,5
ST11A	5	5	2	2	2	7	8	5
ST11B	6,5	6,5	6,5	6,5	2,5	2,5	2,5	2,5
ST11C	4,5	7,5	1,5	1,5	4,5	7,5	4,5	4,5
ST12A	5,5	2	5,5	5,5	1	5,5	5,5	5,5
ST12B	5	1,5	8	5	1,5	5	5	5
(∑Rg)	174,5	140	126,5	128,5	85	181	151	129,5
(∑Rg)^2	30450,25	19600	16002,25	16512,25	7225	32761	22801	16770,25
Ordonnancement	7	5	2	3	1	8	6	4

Tableau n°16 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de l'abondance des algues vertes pour chaque mission

	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
ST01A	4	4	4	4	4	4	4	8
ST01B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST02A	4,5	4,5	2	2	2	7,5	7,5	6
ST02B	7,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5,5	5,5	7,5
ST03A	5	5	2	2	2	7,5	7,5	5
ST03B	5,5	5,5	2	2	2	8	5,5	5,5
ST03C	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	8	4,5	1
ST04A	3	3	3	3	3	6,5	8	6,5
ST04B	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7	8
ST04C	3	3	3	3	3	7	7	7
ST05A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05B	5	5	5	1	5	5	5	5
ST05C	1,5	1,5	4,5	4,5	4,5	4,5	7,5	7,5
ST06A	1,5	3	1,5	6	6	6	6	6
ST06B	7,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5
ST06C	4	4	1	4	7	7	7	2
ST07A	4	4	4	4	4	4	8	4
ST07B	7	2,5	2,5	2,5	7	7	2,5	5
ST07C	7	7	3	3	3	3	7	3
ST08A	6	8	2,5	2,5	2,5	6	6	2,5
ST08B	6,5	8	3	3	3	3	6,5	3
ST09A	2,5	2,5	6	6	6	6	6	1
ST09B	6,5	6,5	3	3	6,5	1	6,5	3
ST09C	6,5	3	3	3	6,5	6,5	6,5	1
ST10A	6,5	3	3	3	3	8	6,5	3
ST10B	2,5	2,5	5,5	5,5	5,5	5,5	8	1
ST10C	3	3	6,5	3	3	8	3	6,5
ST11A	6	8	2,5	2,5	2,5	2,5	6	6
ST11B	7	8	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
ST11C	4	7	2	2	2	7	7	5
ST12A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST12B	5	1	5	5	5	5	5	5
(∑Rg)	140	126,5	97	97	115,5	159,5	177,5	131
(∑Rg)^2	19600	16002,25	9409	9409	13340,25	25440,25	31506,25	17161
Ordonnancement	6	4	1,5	1,5	3	7	8	5

5.3 Conclusion (Chlorophytes)

Le recouvrement des algues vertes est représenté principalement par le genre *Halimeda* dans les trois systèmes (baie de Prony, canal Woodin et Canal de la Havannah).

Cependant, la station ST09 du banc de Kié (particulièrement soumise aux agents hydrodynamiques dans le canal de la Havannah), se distingue par sa diversité et l'importance de recouvrement des genres *Halimeda*, *Codium*, *Caulerpa* et *Dictyosphaeria*.
En milieu tropical, le genre *Halimeda* se caractérise durant l'année par un recouvrement important entre **les mois de novembre à avril et un recouvrement faible entre les mois de mai à octobre. Hors les relevés semestriels des missions ne permettent pas d'appréhender ces variations de recouvrement.**
On constate que les valeurs de biodiversité et d'abondance varient peu compte tenu des intervalles de confiance importants durant la période 2007 à 2012. Cependant les valeurs de diversité de la mission de mars 2010 montrent une anomalie négative. Il s'avère que la station (ST09 du banc Kié), présente une

richesse spécifique particulièrement faible en mars 2010 par rapport aux autres missions. Cette station est très exposée aux agents hydrodynamiques qui sont susceptibles de balayer et d'arracher les macrophytes.

Le test de Friedman permet de classer les années les unes par rapport aux autres mais il n'apparait pas de similitude concernant les évènements dépressionnaires ni les cycles saisonniers des genres les plus abondants. Toutes ces fluctuations n'ont peut-être aucune explication rationnelle, **cependant on ne constate pas de prolifération, ni de diminution de la biodiversité au cours du temps.**

Les résultats quantitatifs de diversité et d'abondance des algues vertes ne montrent pas de prolifération, ni de diminution de la biodiversité au cours du temps.

Aucune espèce invasive (exogène), ni espèce envahissante (indigène) d'algues vertes n'a été répertoriée sur les stations de suivi.

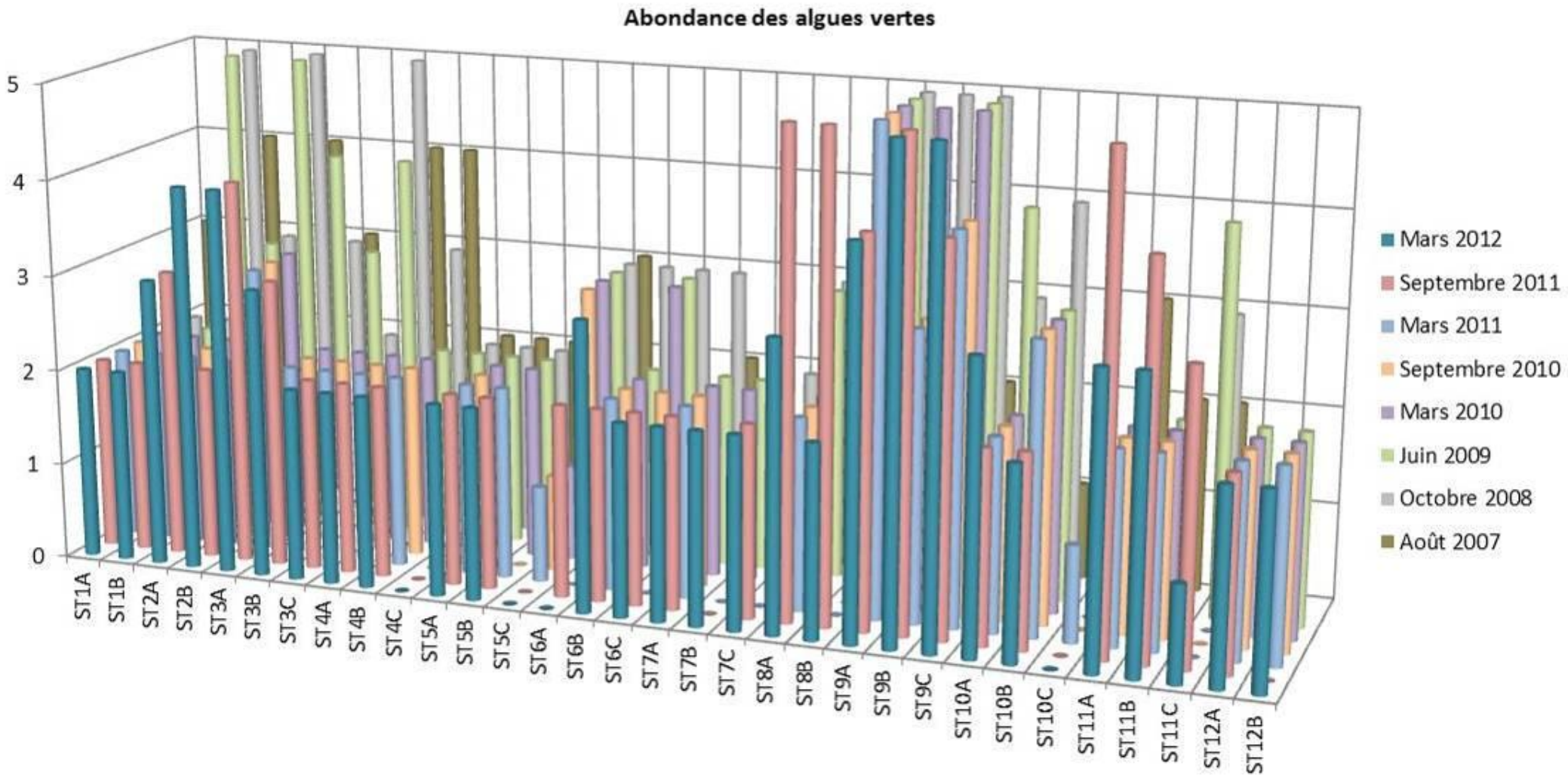


Figure n°5 : *Abondance (échelle 1 à 5) des algues vertes (tous transects, à chaque mission)*

6 Résultats pour les algues rouges

Rappel : ces résultats sont obtenus par la méthode du couloir.

Les valeurs des biodiversités α et d'abondance des algues rouge selon les différentes transects pour toutes les missions de 2007 à 2012 sont résumées dans les tableaux 17 et 18 respectivement.
L'abondance est aussi représentée graphiquement sur la figure 07.

Tableau n°17 : Valeur de la richesse spécifique des algues vertes pour tous les transects à chaque mission

Biodiversité Algues rouges	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	0	2	1	1	0	0	1	0
ST01B	0	2	0	1	0	0	0	0
ST02A	1	1	1	1	1	1	1	1
ST02B	1	1	1	1	1	1	1	1
ST03A	1	1	1	1	1	1	1	1
ST03B	1	1	1	1	1	1	1	1
ST03C	1	1	1	1	1	1	1	1
ST04A	1	1	1	1	1	1	1	1
ST04B	1	1	1	1	1	1	1	1
ST04C	1	1	1	1	1	1	1	1
ST05A	1	1	1	1	1	1	1	1
ST05B	1	1	1	1	1	1	1	1
ST05C	1	1	1	1	1	1	1	1
ST06A	3	4	2	4	3	3	4	2
ST06B	3	5	2	4	3	2	4	2
ST06C	3	5	2	2	2	2	4	1
ST07A	1	2	1	1	1	1	1	1
ST07B	1	2	0	1	1	1	1	1
ST07C	1	2	0	0	0	1	1	1
ST08A	3	4	3	3	3	3	4	2
ST08B	4	6	3	3	3	4	4	2
ST09A	2	3	1	2	2	2	3	2
ST09B	2	3	2	3	2	2	4	3
ST09C	2	2	2	2	2	2	5	2
ST10A	1	1	1	2	2	2	2	2
ST10B	1	2	1	1	1	1	2	2
ST10C	1	2	1	1	1	1	2	1
ST11A	2	3	2	2	2	2	4	1
ST11B	4	4	3	3	3	3	2	2
ST11C	2	3	2	0	1	1	1	0
ST12A	0	0	0	0	0	1	*0,16*	*0,16*
ST12B	0	0	0	0	0	1	*0,16*	*0,16*

Tableau n°18 : Valeur d'abondance des algues rouges pour tous les transects à chaque mission

Abondance Algues rouges	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	0	3	2	2	0	0	2	0
ST01B	0	3	0	2	0	0	0	0
ST02A	3	3	3	3	3	3	3	3
ST02B	3	3	3	3	3	3	3	3
ST03A	3	3	3	3	3	3	3	3
ST03B	4	4	4	4	4	4	4	3
ST03C	2	2	2	2	2	2	2	3
ST04A	2	2	2	2	2	2	2	2
ST04B	2	2	2	2	2	2	2	2
ST04C	1	1	1	1	1	1	1	1
ST05A	3	3	3	3	3	3	3	3
ST05B	2	2	2	2	2	2	2	2
ST05C	2	2	2	2	2	2	2	2
ST06A	3	5	3	3	3	3	5	3
ST06B	3	5	2	2	2	2	5	5
ST06C	3	5	2	2	2	2	5	2
ST07A	3	5	2	4	2	2	3	5
ST07B	2	3	0	2	2	2	5	4
ST07C	2	5	0	0	0	2	4	1
ST08A	3	5	2	3	3	3	5	3
ST08B	3	5	3	3	3	3	4	3
ST09A	5	5	3	4	4	4	5	3
ST09B	5	5	4	4	4	4	5	4
ST09C	5	5	4	4	4	3	5	3
ST10A	2	2	2	2	2	2	3	2
ST10B	2	2	2	2	2	2	2	1
ST10C	2	5	2	2	2	2	2	1
ST11A	3	5	3	5	5	5	5	3
ST11B	3	5	4	5	5	5	5	3
ST11C	2	4	2	0	3	3	4	0
ST12A	0	0	0	0	0	2	*0,33*	*0,33*
ST12B	0	0	0	0	0	2	*0,33*	*0,33*

6.1 Analyse de variance (Rhodophytes)

Les résultats d'une ANOVAR sur ces tableaux (17 et 18) de biodiversité α et d'abondance des algues rouges sont présentés ci-dessous :

k1=p-1	7	F obs. (Biodiversité)	2.76
		F obs. (Abondance)	3.39
K2=n-p	248	F95%	2.05
		F99%	2.71

Les analyses des variances de la richesse spécifique et de l'abondance des algues rouges pour les 8 campagnes ne montrent pas de similarité, même pour une valeur de F à 99%.

Tableau n°19 : Analyse de la Variance de la richesse spécifique des algues rouges pour tous les transects à chaque mission

ANOVAR de la richesse spécifique des algues rouges	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
Richesse spécifique moyenne	1,47	2,13	1,25	1,47	1,34	1,44	1,89	1,20
Ecart type	1,08	1,50	0,84	1,08	0,94	0,88	1,44	0,72
Intervalle de confiance (IC:0,95)	0,37	0,52	0,29	0,37	0,32	0,30	0,50	0,25
Coefficient de Variation	0,73	0,70	0,67	0,73	0,70	0,61	0,76	0,60
n	32	32	32	32	32	32	32	32

Tableau n°20 : Analyse de la Variance de l'abondance des algues rouges pour tous les transects à chaque mission

ANOVAR de l'abondance des algues rouges	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
Richesse spécifique moyenne	2,44	3,41	2,16	2,44	2,34	2,50	3,18	2,30
Ecart type	1,32	1,58	1,19	1,34	1,38	1,14	1,59	1,36
Intervalle de confiance (IC:0,95)	0,46	0,55	0,41	0,47	0,48	0,39	0,55	0,47
Coefficient de Variation	0,54	0,46	0,55	0,55	0,59	0,45	0,50	0,59
n	32	32	32	32	32	32	32	32

L'ANOVAR n'accrédite pas l'hypothèse d'identité Ho : les 8 séries ont des variances différentes. Il y a des différences entre les années, du point de vue quantitatif puisque le protocole n'a jamais évolué.

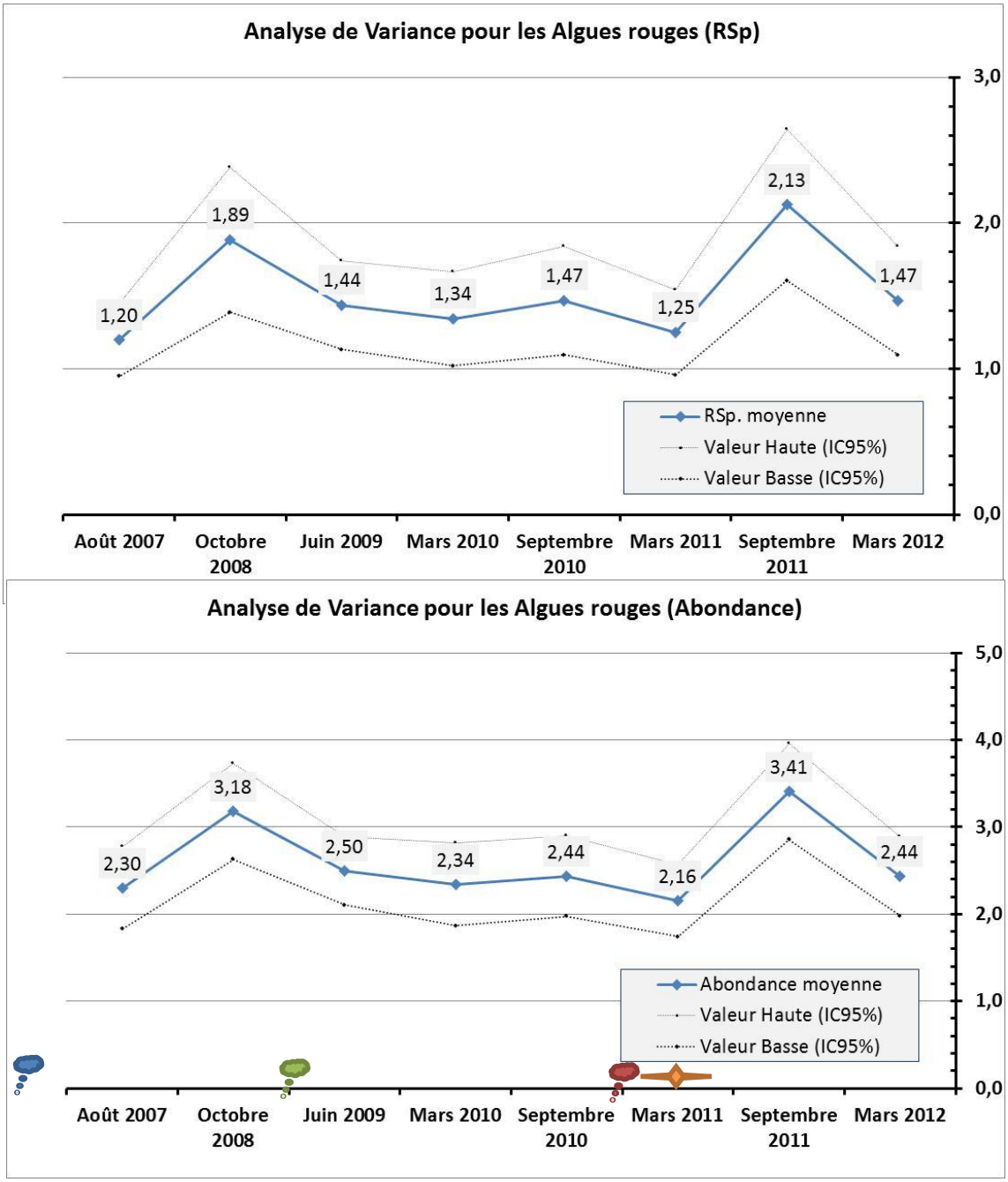


Figure n°6 : *<u>Valeur de la richesse spécifique moyenne et de l'abondance moyenne des algues rouges</u>*

Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance. Les nuages sur l'axe des abscisses indiquent les évènements dépressionnaires (nuage bleu : Becky du 25 au 29 mars 2007; nuage vert : Jasper du 22 au 26 mars 2009; nuage rouge : Vania 8 et 16 janvier 2011 et Zelia du 14 au 17 janvier 2011) et l'étoile orange indique le phénomène climatique la Niña.

6.2 Test de Friedman (Rhodophytes)

Il devient alors intéressant de voir s'il y a un classement des séries au cours du temps et le test de Friedman permet de répondre à ce questionnement. On considèrera les tableaux 17 et 18 en classant les valeurs en ligne (de 1 à 8).

Tableau n°21 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique et de l'abondance des algues rouges pour toutes les missions

KHI 2 obs. (Biodiversité))	37.5			
KHI 2 obs. (Abondance)	36.8			
ddl= 7	Khi² 95%	Khi² 97,5%	Khi² 99%	Khi² 99,5%
Valeur Khi²	14.067	16.013	18.475	20.278

L'Ho d'identité de colonnes n'est pas vérifiée. Le rejet est important : **ce test montre que des variations de biodiversité et d'abondance existent entre les missions. La diversité des algues rouges montre des évolutions dans le temps (saisonnalité et phénomène d'arrachement par les évènements exceptionnels).**

Tableau n°22 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des algues rouges à chaque mission

	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
ST01A	2,5	8	6	6	2,5	2,5	6	2,5
ST01B	3,5	8	3,5	7	3,5	3,5	3,5	3,5
ST02A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST02B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST03A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST03B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST03C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST04A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST04B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST04C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST06A	4	7	1,5	7	4	4	7	1,5
ST06B	4,5	8	2	6,5	4,5	2	6,5	2
ST06C	6	8	3,5	3,5	3,5	3,5	7	1
ST07A	4	8	4	4	4	4	4	4
ST07B	4,5	8	1	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
ST07C	5,5	8	2	2	2	5,5	5,5	5,5
ST08A	4	7,5	4	4	4	4	7,5	1
ST08B	6	8	3	3	3	6	6	1
ST09A	4	7,5	1	4	4	4	7,5	4
ST09B	2,5	6	2,5	6	2,5	2,5	8	6
ST09C	4	4	4	4	4	4	8	4
ST10A	2	2	2	6	6	6	6	6
ST10B	3	7	3	3	3	3	7	7
ST10C	3,5	7,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5
ST11A	4	7	4	4	4	4	8	1
ST11B	7,5	7,5	4,5	4,5	4,5	4,5	1,5	1,5
ST11C	6,5	8	6,5	1,5	4	4	4	1,5
ST12A	4	4	4	4	4	8	4	4
ST12B	4	4	4	4	4	8	4	4
(∑Rg)	89,5	143	69,5	92	79	91	123	69
(∑Rg)^2	8010,25	20449	4830,25	8464	6241	8281	15129	4761
Ordonnancement	4	8	2	6	3	5	7	1

Tableau n°23 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de l'abondance des algues rouges à chaque mission

	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
ST01A	2,5	8	6	6	2,5	2,5	6	2,5
ST01B	3,5	8	3,5	7	3,5	3,5	3,5	3,5
ST02A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST02B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST03A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST03B	5	5	5	5	5	5	5	1
ST03C	4	4	4	4	4	4	4	8
ST04A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST04B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST04C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST06A	3,5	7,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5
ST06B	3	7	3	3	3	3	7	7
ST06C	6	7,5	3	3	3	3	7,5	3
ST07A	4,5	7,5	2	6	2	2	4,5	7,5
ST07B	3,5	6	1	3,5	3,5	3,5	8	7
ST07C	5,5	7,5	2	2	2	5,5	7,5	4
ST08A	4	7,5	1	4	4	4	7,5	4
ST08B	3,5	8	3,5	3,5	3,5	3,5	7	3,5
ST09A	7	7	1,5	4	4	4	7	1,5
ST09B	7	7	3	3	3	3	7	3
ST09C	7	7	4	4	4	1,5	7	1,5
ST10A	4	4	4	4	4	4	8	4
ST10B	5	5	5	5	5	5	5	1
ST10C	4,5	8	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	1
ST11A	2	6	2	6	6	6	6	2
ST11B	1,5	6	3	6	6	6	6	1,5
ST11C	4,5	7,5	4,5	1,5	4,5	4,5	7,5	1,5
ST12A	4	4	4	4	4	8	4	4
ST12B	4	4	4	4	4	8	4	4
(∑Rg)	99	149	77	96,5	88,5	97,5	141	79,5
(∑Rg)^2	9801	22201	5929	9312,25	7832,25	9506,25	19881	6320,25
Ordonnancement	6	8	1	4	3	5	7	2

6.3 Conclusion (Rhodophytes)

Le recouvrement des algues rouges est représenté principalement dans les trois systèmes (baie de Prony, canal Woodin et Canal de la Havannah), par les genres *Asparagopsis* et *Amphiroa* puis dans une moindre mesure par l'espèce *Trichogloea requienii*.

Les algues rouges sont présentes en abondance sur tous les transects de suivi excepté pour la station ST12 (Ugo) où leur développement reste restreint. Par contre, elles affectionnent particulièrement les hauts de récifs exposés aux agents hydrodynamiques dans le canal de la Havannah (ST06, ST07, ST08, ST09 et ST11).
En milieu tropical, les genres *Asparagopsis* et *Trichogloea* présentent des variations saisonnières très

remarquables. Leur développement est très important à la fin de l'hiver austral et elles peuvent disparaitre à la fin de l'été austral. Alors qu'*Amphiroa* est une algue calcaire pérenne et robuste.

Les relevés semestriels des missions permettent d'appréhender ce phénomène de saisonnalité car les périodes de mission correspondent à des phases du cycle des algues rouges (septembre : fin de l'hiver austral ; mars : fin de l'été austral). Cette caractéristique est nettement visible sur les récifs où l'hydrodynamisme est intense car durant leur période de senescence les thalles sont balayées et arrachés de leur substrat (fin de l'été austral).

Le test de Friedman permet de classer les années les unes par rapport aux autres et il apparait que les périodes les plus diversifiées et les plus abondantes sont corrélées pour les algues rouges et que cette période correspond à la fin de l'hiver austral (saison fraiche et sèche : octobre 2008, septembre 2010 et septembre 2011). Cependant, les intervalles de confiance durant la période 2007 à 2012 restent importants.

Aucune espèce invasive (exogène), ni d'espèce envahissante (indigène) d'algues rouges n'a été répertoriée sur les stations de suivi.

Cependant, le statut du genre *Asparagopsis* en Nouvelle-Calédonie reste à définir car il existe différents clades (étude phylogénétique). Ce genre est répertorié sur la liste IUCN comme comptant des espèces introduites et invasives dans les zones subtropicales et tempérées.
Son développement est à surveiller à long terme dans la zone d'étude car il constitue un compétiteur spatial important (menace) pour les communautés coralliennes et particulièrement les coraux durant sa phase de développement (fin de l'hiver austral et début de l'été austral).

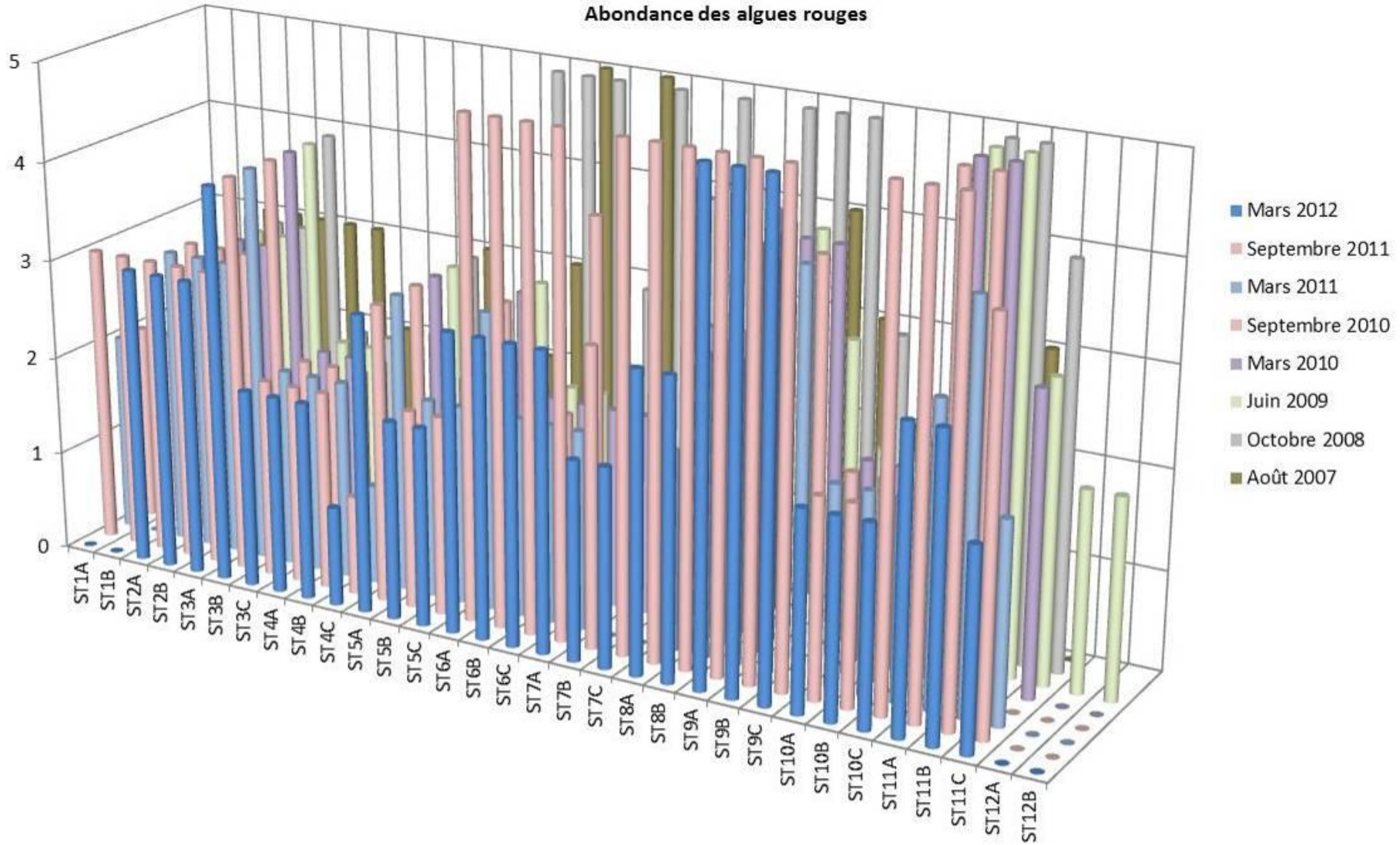


Figure n°7 : Abondance (échelle 1 à 5) des algues rouges (tous transects, à chaque mission)

7 Résultats pour les algues brunes

Rappel : ces résultats sont obtenus par la méthode du couloir.

Les valeurs des biodiversités α et d'abondance des algues brunes selon les différentes transects pour toutes les missions de 2007 à 2012 sont résumées dans les tableaux 24 et 25 respectivement.
L'abondance est aussi représentée graphiquement sur la figure 09.

Tableau n°24 : Valeur de la richesse spécifique des algues brunes pour tous les transects à chaque mission

Biodiversité Algues brunes	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	5	5	5	5	5	5	6	5
ST01B	5	5	6	6	5	5	7	6
ST02A	1	1	1	1	1	2	2	1
ST02B	1	1	1	1	1	2	2	1
ST03A	3	3	3	3	3	3	1	1
ST03B	2	2	2	2	2	1	1	1
ST03C	2	2	2	2	2	1	1	1
ST04A	1	0	0	0	0	0	0	0
ST04B	1	0	0	0	0	0	0	0
ST04C	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
ST05A	1	0	0	1	1	2	2	1
ST05B	0	0	0	0	1	0	0	1
ST05C	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
ST06A	0	0	0	0	1	3	3	3
ST06B	1	1	1	1	0	2	2	2
ST06C	1	1	1	1	0	1	2	0
ST07A	1	0	0	0	1	2	2	1
ST07B	1	0	0	1	1	1	1	0
ST07C	1	1	0	0	0	0	2	0
ST08A	2	2	1	1	1	2	2	1
ST08B	1	2	1	1	1	1	2	0
ST09A	1	0	0	0	1	1	1	2
ST09B	0	0	0	0	0	0	3	2
ST09C	0	0	0	0	0	0	1	1
ST10A	0	1	0	0	0	0	1	0
ST10B	0	1	0	0	0	0	1	0
ST10C	0	0	0	0	0	0	2	0
ST11A	0	0	0	0	0	0	1	1
ST11B	1	0	0	0	0	0	1	1
ST11C	0	1	1	1	1	1	1	1
ST12A	1	1	1	1	0	3	*1,16*	*1,16*
ST12B	1	0	0	0	0	3	0,66	0,66

Tableau n°25 : Valeur de l'abondance des algues brunes pour tous les transects à chaque mission

Abondance Algues brunes	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	5	5	5	5	5	5	5	5
ST01B	4	4	5	5	5	5	5	4
ST02A	3	3	5	5	5	5	5	4
ST02B	3	3	5	5	5	4	4	3
ST03A	4	4	4	4	4	4	4	4
ST03B	5	5	5	5	5	5	5	5
ST03C	5	5	5	5	5	5	5	4
ST04A	2	0	0	0	0	0	0	0
ST04B	2	0	0	0	0	0	0	0
ST04C	0	0	0	0	0	0	0	0
ST05A	2	0	0	2	2	2	3	3
ST05B	0	0	0	0	2	0	0	2
ST05C	0	0	0	0	0	0	0	0
ST06A	0	0	0	0	2	4	4	4
ST06B	3	2	2	2	0	2	3	3
ST06C	2	3	3	3	0	2	3	0
ST07A	3	0	0	0	2	2	3	3
ST07B	2	0	0	2	2	2	2	0
ST07C	2	2	0	0	0	0	3	0
ST08A	2	2	2	3	2	5	3	3
ST08B	2	0	2	2	2	2	2	0
ST09A	2	0	0	0	2	2	4	5
ST09B	0	0	0	0	0	0	3	4
ST09C	0	0	0	0	0	0	3	3
ST10A	0	1	0	0	0	0	3	0
ST10B	0	1	0	0	0	0	2	0
ST10C	0	0	0	0	0	0	3	0
ST11A	0	0	0	0	0	0	3	3
ST11B	2	0	0	0	0	0	4	3
ST11C	0	2	2	2	3	3	3	2
ST12A	2	1	1	2	0	4	1,66	1,66
ST12B	2	0	0	0	0	4	*1*	*1*

7.1 Analyse de variance (Chromophytes)

Les résultats d'une ANOVAR sur ces tableaux (24 et 25) de biodiversité α et d'abondance des algues brunes sont présentés ci-dessous :

k1=p-1	7	F obs. (Biodiversité)	2.72
		F obs. (Abondance)	4.90
K2=n-p	248	F95%	2.05
		F99%	2.71

L'analyse des variances de la richesse spécifique des algues brunes pour les 8 campagnes ne montre pas de similarité, même pour une valeur de F à 99%.

Tableau n°26 : Analyse de la Variance de la richesse spécifique des algues brunes pour tous les transects à chaque mission

ANOVAR de la richesse spécifique des algues brunes	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
Richesse spécifique moyenne	1,06	0,94	0,81	0,88	0,88	1,28	1,62	1,09
Ecart type	1,27	1,34	1,45	1,43	1,31	1,44	1,52	1,38
Intervalle de confiance (IC:0,95)	0,44	0,47	0,50	0,50	0,46	0,50	0,53	0,48
Coefficient de Variation	1,19	1,43	1,78	1,64	1,50	1,13	0,94	1,27
n	32	32	32	32	32	32	32	32

Tableau n°27 : Analyse de la Variance de l'abondance des algues brunes pour tous les transects à chaque mission

ANOVAR de l'abondance des algues brunes	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
Richesse spécifique moyenne	1,84	1,34	1,44	1,63	1,66	2,09	2,80	2,18
Ecart type	1,63	1,75	2,02	2,00	1,96	2,02	1,58	1,82
Intervalle de confiance (IC:0,95)	0,56	0,61	0,70	0,69	0,68	0,70	0,55	0,63
Coefficient de Variation	0,88	1,30	1,40	1,23	1,18	0,97	0,56	0,84
n	32	32	32	32	32	32	32	32

L'ANOVAR n'accrédite pas l'hypothèse d'identité Ho : les 8 séries ont des variances différentes. **Il y a des différences entre les années, du point de vue quantitatif puisque les structures sont les mêmes. Le protocole n'a jamais évolué pour les macrophytes, seules les variations saisonnières ou induites par une dépression sont donc enregistrées.**

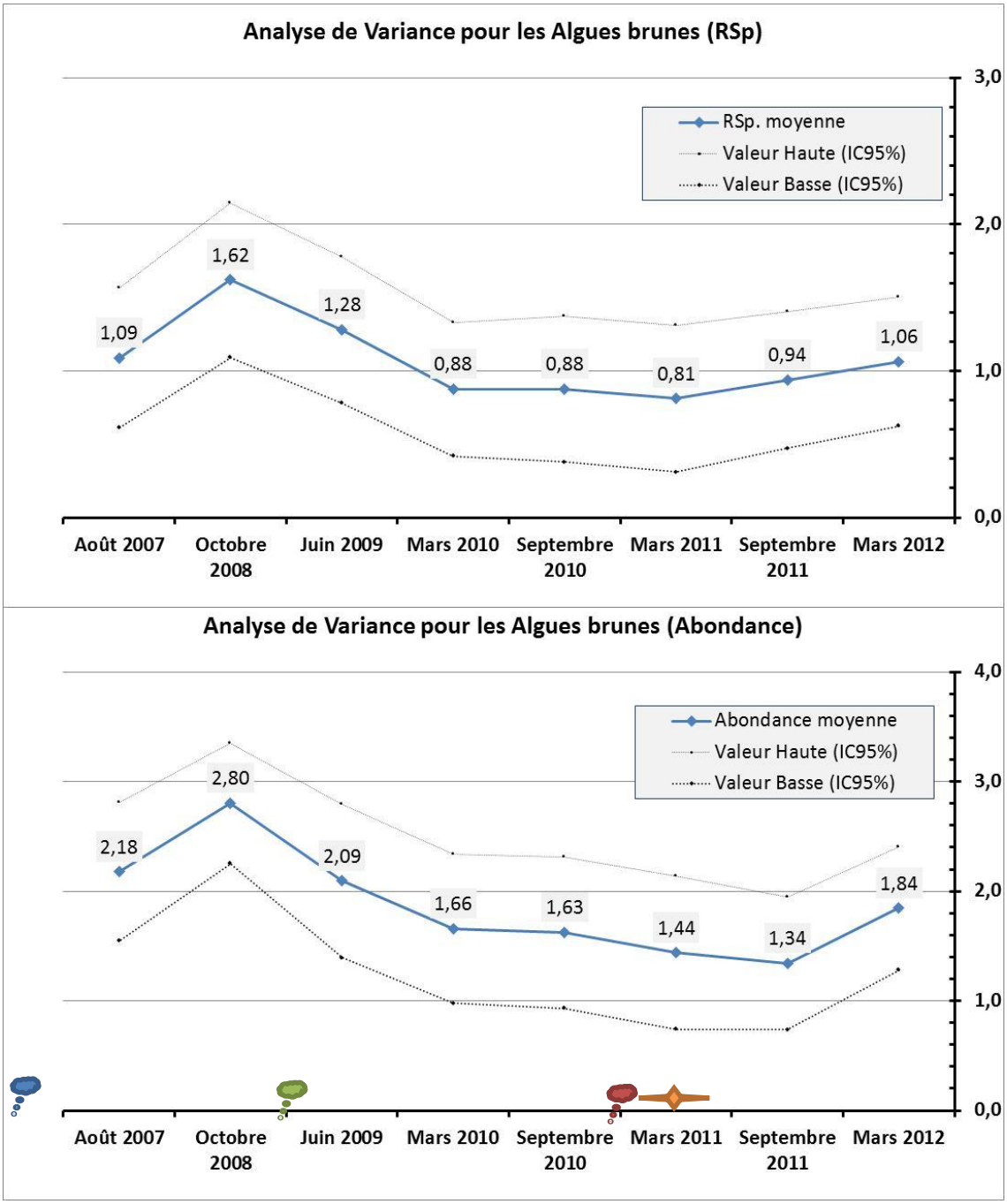


Figure n°8 : Valeurs de la richesse spécifique moyenne et de l'abondance moyenne des algues brunes

Les valeurs hautes et basses représentent l'intervalle de confiance. Les nuages sur l'axe des abscisses indiquent les évènements dépressionnaires (nuage bleu : Becky du 25 au 29 mars 2007; nuage vert : Jasper du 22 au 26 mars 2009; nuage rouge : Vania 8 et 16 janvier 2011 et Zelia du 14 au 17 janvier 2011) et l'étoile orange indique le phénomène climatique la Niña.

7.2 Test de Friedman (Chromophytes)

Il devient alors intéressant de voir s'il y a un classement des séries au cours du temps et le test de Friedman permet de répondre à ce questionnement. On considèrera les tableaux 24 et 25 en classant les valeurs en ligne (de 1 à 8).

Tableau n°28 : Analyses non paramétriques Friedman (analyse en colonne) de la richesse spécifique et de l'abondance des algues brunes pour toutes les missions

KHI 2 obs. (Biodiversité)	21.2			
KHI 2 obs. (Abondance)	26.6			
ddl= 7	Khi² 95%	Khi² 97,5%	Khi² 99%	Khi² 99,5%
Valeur Khi²	14.067	16.013	18.475	20.278

L'Ho d'identité de colonnes n'est pas vérifiée : ce test montre que des variations de biodiversité existent entre les missions. **La diversité des macrophytes montre des évolutions dans le temps (saisonnalité et phénomène d'arrachement par les évènements exceptionnels).**

Tableau n°29 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de la richesse spécifique des algues brunes à chaque mission

	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
ST01A	4	4	4	4	4	4	8	4
ST01B	2,5	2,5	6	6	2,5	2,5	8	6
ST02A	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	7,5	3,5
ST02B	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	7,5	3,5
ST03A	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	1,5	1,5
ST03B	6	6	6	6	6	2	2	2
ST03C	6	6	6	6	6	2	2	2
ST04A	8	4	4	4	4	4	4	4
ST04B	8	4	4	4	4	4	4	4
ST04C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05A	4,5	1,5	1,5	4,5	4,5	7,5	7,5	4,5
ST05B	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5	3,5	7,5
ST05C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST06A	3	3	3	3	3	7	7	7
ST06B	3,5	3,5	3,5	3,5	1	7	7	7
ST06C	5	5	5	5	1,5	5	8	1,5
ST07A	5	2	2	2	5	7,5	7,5	5
ST07B	6	2	2	6	6	6	6	2
ST07C	6,5	6,5	3	3	3	3	8	3
ST08A	6,5	6,5	2,5	2,5	2,5	6,5	6,5	2,5
ST08B	4	7,5	4	4	4	4	7,5	1
ST09A	5,5	2	2	2	5,5	5,5	5,5	8
ST09B	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	8	7
ST09C	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	7,5
ST10A	3,5	7,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5
ST10B	3,5	7,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5
ST10C	4	4	4	4	4	4	8	4
ST11A	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	7,5
ST11B	7	3	3	3	3	3	7	7
ST11C	1	5	5	5	5	5	5	5
ST12A	4,5	4,5	4,5	4,5	1	8	4,5	4,5
ST12B	7	3,5	3,5	3,5	3,5	8	3,5	3,5
(∑Rg)	141	127,5	112	119	116,5	147	184,5	132,5
(∑Rg)^2	19881	16256,25	12544	14161	13572,25	21609	34040,25	17556,25
Ordonnancement	6	4	1	3	2	7	8	5

Tableau n°30 : Classement par rang en colonne pour l'analyse non paramétrique Friedman de l'abondance des algues brunes à chaque mission

	03/12	09/11	03/11	09/10	03/10	06/09	10/08	08/07
ST01A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST01B	2	2	6	6	6	6	6	2
ST02A	1,5	1,5	6	6	6	6	6	3
ST02B	2	2	7	7	7	4,5	4,5	2
ST03A	-	-	-	-	-	-	-	-
ST03B	-	-	-	-	-	-	-	-
ST03C	5	5	5	5	5	5	5	1
ST04A	8	4	4	4	4	4	4	4
ST04B	8	4	4	4	4	4	4	4
ST04C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST05A	4,5	1,5	1,5	4,5	4,5	4,5	7,5	7,5
ST05B	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5	3,5	7,5
ST05C	-	-	-	-	-	-	-	-
ST06A	2,5	2,5	2,5	2,5	5	7	7	7
ST06B	7	3,5	3,5	3,5	1	3,5	7	7
ST06C	3,5	6,5	6,5	6,5	1,5	3,5	6,5	1,5
ST07A	7	2	2	2	4,5	4,5	7	7
ST07B	6	2	2	6	6	6	6	2
ST07C	6,5	6,5	3	3	3	3	8	3
ST08A	2,5	2,5	2,5	6	2,5	8	6	6
ST08B	5,5	1,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	1,5
ST09A	5	2	2	2	5	5	7,5	7,5
ST09B	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	7,5
ST09C	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	7,5
ST10A	3,5	7	3,5	3,5	3,5	3,5	8	3,5
ST10B	3,5	7	3,5	3,5	3,5	3,5	8	3,5
ST10C	4	4	4	4	4	4	8	4
ST11A	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	7,5
ST11B	6,5	3	3	3	3	3	8	6,5
ST11C	1	3,5	3,5	3,5	7	7	7	3,5
ST12A	5,5	2,5	2,5	5,5	1	8	5,5	5,5
ST12B	7	2,5	2,5	2,5	2,5	8	5,5	5,5
(∑Rg)	121,5	92,5	99,5	113	113	131	173,5	128
(∑Rg)^2	14762,25	8556,25	9900,25	12769	12769	17161	30102,25	16384
Ordonnancement	5	1	2	3,5	3,5	7	8	6

7.3 Conclusion (Chromophytes)

Les algues brunes sont particulièrement abondantes en baie de Prony et leur recouvrement est similaire d'une mission à l'autre car le genre *Lobophora* domine les récifs de cette baie durant toute l'année (algue pérenne). Cependant, d'autres genres sont présent en abondance en baie de Prony, comme *Padina*, *Dictyota* et dans une moindre mesure *Sargassum* et *Turbinaria.*

Dans le canal Woodin et canal de la Havannah, le recouvrement en algues brunes est beaucoup plus faible et disparate entre les récifs. Certaines stations ne présentent que très peu de diversité et de recouvrement (ST04, ST05, ST09, ST10 et ST11) et pour les autres stations ces facteurs sont très variables selon les saisons et le régime hydrodynamique.

Les relevés semestriels des missions mettent en valeur que la richesse spécifique et le recouvrement étaient plus important en octobre 2008. Durant cette mission, un développement des genres *Dictyota* et *Padina* était constaté sur quelques récifs de la baie de Prony et du canal de la Havannah. Depuis, le recouvrement a diminué et s'est stabilisé indépendamment des saisons. Cependant, les intervalles de confiance durant la période 2007 à 2012 reste importante.

Le test de Friedman permet de classer les années les unes par rapport aux autres mais il n'apparait pas de similitude concernant les évènements dépressionnaires, ni les cycles saisonniers des genres les plus abondants. Les résultats quantitatifs de diversité et d'abondance des algues brunes sont à considérer comme stables depuis juin 2009.

Aucune espèce invasive (exogène), ni d'espèce envahissante (indigène) d'algues brunes n'a été répertoriée sur les stations de suivi.

Cependant, le développement du genre *Lobophora* est à surveiller à long terme car il constitue un compétiteur spatial important pour les coraux. Il s'avère que ce genre est très bien développé en baie de Prony et il pourrait avoir des caractéristiques d'une espèce envahissante (indigène) dans certaines zones comme le Creek baie nord (ST02) et le port (ST03). Si les conditions environnementales venaient à changer (principalement augmentation de la turbidité), certaines espèces coralliennes pourraient être perturbées et le genre *Lobophora* pourrait ainsi se développer à la défaveur des coraux puis étouffer une grande partie des récifs.

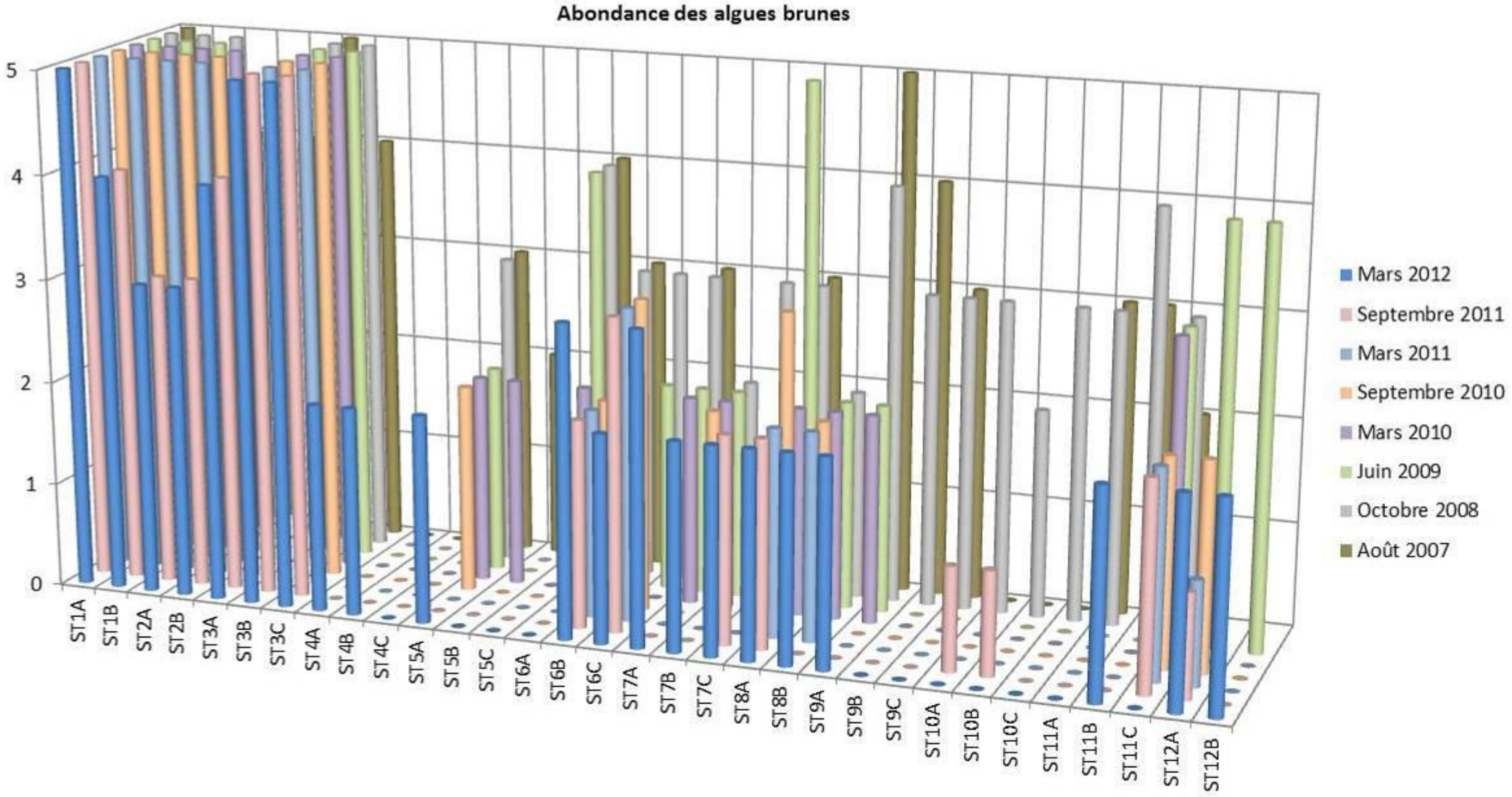


Figure n°9 : Abondance (échelle 1 à 5) des algues brunes (tous transects, à chaque mission)

8 Résultats pour les cyanobactéries

8.1 Méthode du couloir

Les données récoltées entre août 2007et mars 2012 en ce qui concerne l'abondance (selon l'indice semi-quantitatif (1 à 5)) des cyanobactéries sont synthétisées dans les deux graphiques des figures 10 et 11.

Le recouvrement des cyanobactéries reste modéré : quelques pics de développement ont été enregistrés mais ces derniers ne perdurent pas dans le temps.
Les caractéristiques morphologiques sont essentiellement de type filamenteuse et dans une moindre mesure en forme de pompon. Elles colonisent quelques colonies mortes en place, quelques coraux blanchis et affaiblis (maladie de la bande blanche), des colonies retournées et les débris coralliens.

Avec le recul et le suivi en place, leur développement n'a pas été jugé prolifique pour aucune mission/station mais reste à surveiller avec une grande attention.

8.2 Méthode du LIT

Les données récoltées entre août 2007et mars 2012 en ce qui concerne le recouvrement des cyannobactéries (en %) sont synthétisées dans le tableau 31 et la figure 12.

Dans l'ensemble, hormis certains pics d'efflorescence, le recouvrement en cynaobatéries reste assez faible : il est de 0 à 4.5% selon les missions et les stations, la grande majorité des enregistrements étant nuls.
Les développements majeurs sont :

- en juin 2009 : 46.5% au transect supérieur du Port (ST03A),
- en mars 2011 : 24% au transect bas de Puka (ST08B),
- en septembre 2011 : 18% au transect bas de Casy (ST01B) et 6.5% au transect intermédiaire du Port (ST03B).

En cumulé, les stations comme l'îlot Kié (ST10A, 8.5%) ou Toémo (ST11B, 6.5%) se distinguent légèrement, ayant des recouvrements faibles mais relativement constants en cyanobactéries.

Tableau n°31 : Recouvrement en cyanobactéries (%) pour tous les transects à chaque mission

Recouvreent (%) Cyanobactéries	03/2012	09/2011	03/2011	09/2010	03/2010	06/2009	10/2008	08/2007
ST01A	0	0	1,5	0	0	0	1	0
ST01B	0	18	0	0,5	0	0	0	0
ST02A	0	0	0	0	0	0	0	0
ST02B	0	0	0	0	0	0	0	0
ST03A	0	0	0	0	0,5	46,5	0	0
ST03B	0	6,5	0	0,5	0	0	0	0
ST03C	0	0	0	0	0	0	0	0
ST04A	0	0	0	0	0	0	0	0
ST04B	0	0	0	0	0	0	0	0
ST04C	0	0	0	0	0	0	0	0
ST05A	0	0	0	0	0	0	0	0
ST05B	0	0	0,5	0	0	0	0	0
ST05C	0	0	0	0	0	0	0	0
ST06A	0	0	0	0	0	0	0	0
ST06B	0,5	0	0,5	2,5	0	0	0	0
ST06C	0	1	1	0	1	2	0	0
ST07A	0	0	0	0	0	0	0,5	0
ST07B	0,5	0	0	0	1,5	0	0	0
ST07C	2	0	1	0	0,5	0	0	0
ST08A	0	0,5	4	0	1,5	0	0	0
ST08B	0	0,5	24	0,5	0	0	0	0
ST09A	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0
ST09B	0	0,5	2,5	1	0	0	0,5	0
ST09C	0	0	1	0	0	0	0,5	0
ST10A	0,5	0,5	2	4,5	0,5	0,5	0	0
ST10B	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5
ST10C	0	0	0	0	0	0	0,5	0
ST11A	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0
ST11B	0	0	3,5	0,5	0	2,5	0	0
ST11C	1	1,5	1	0,5	0	0,5	0	0
ST12A	0	0	0,5	0	0	0	*0,083*	*0,083*
ST12B	0	0	0	0	0,5	0	*0,083*	*0,083*

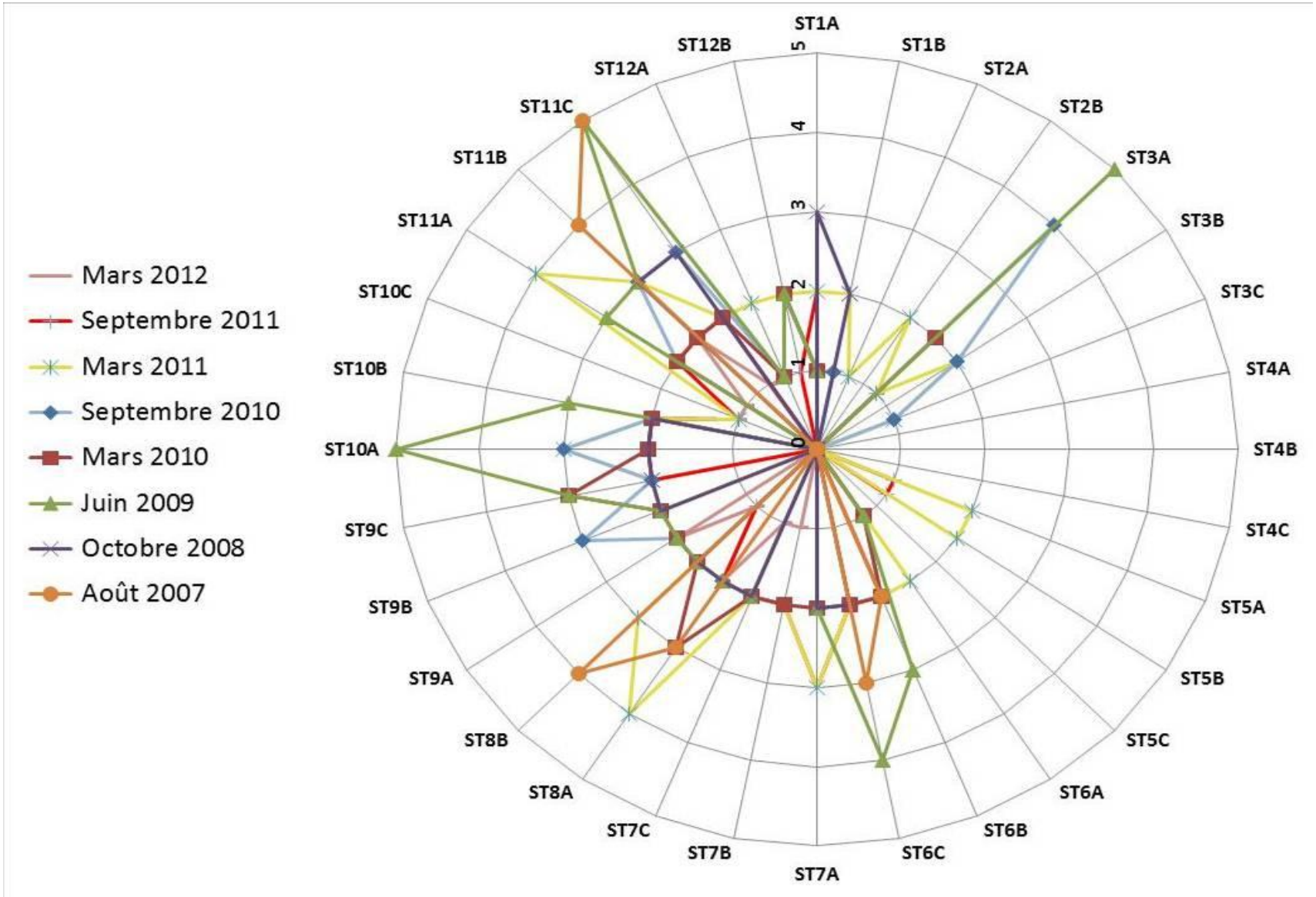


Figure n°10 : *<u>Abondance des cyanobactéries pour tous les transects, à chaque mission (Radar)</u>*

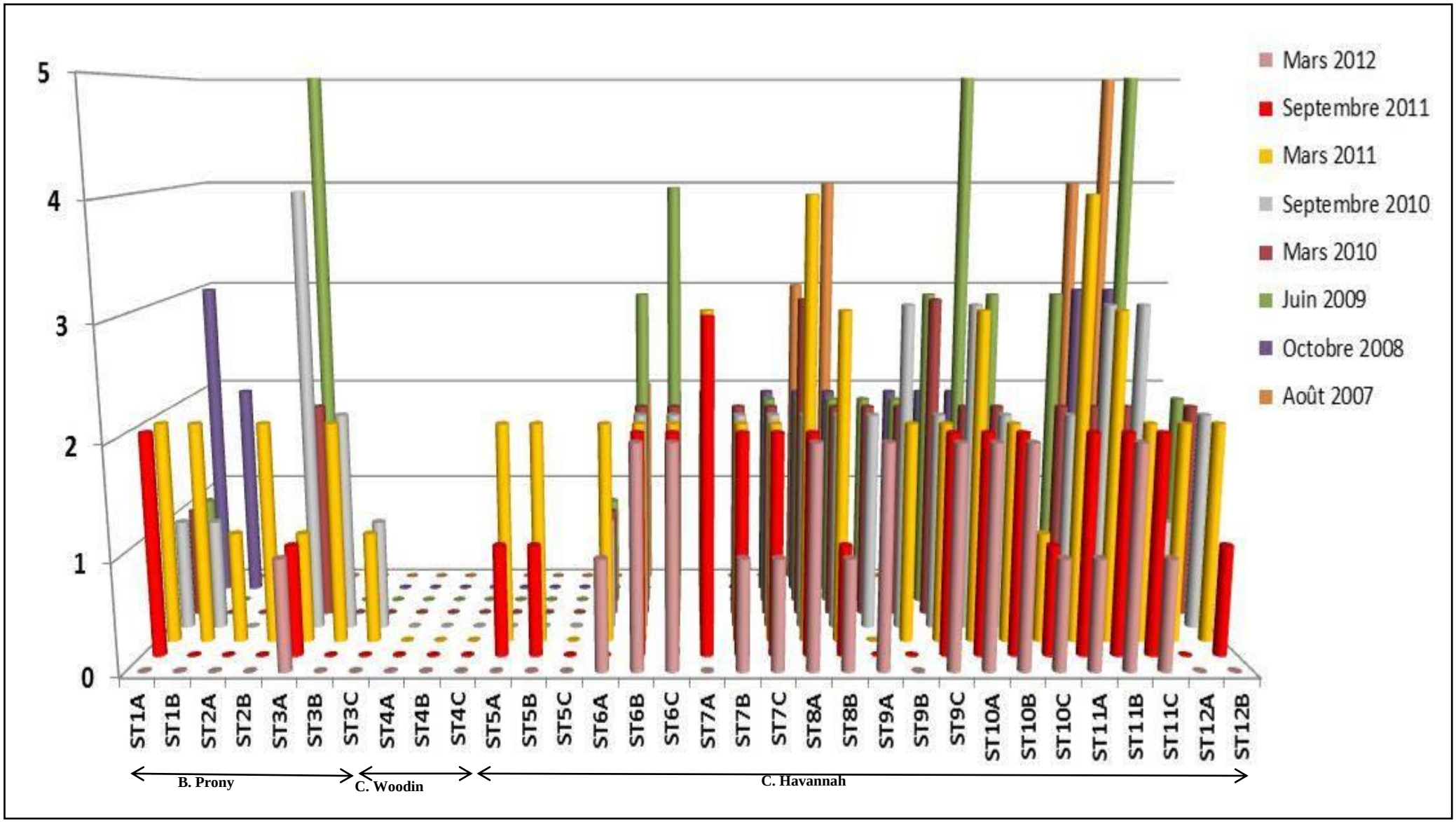


Figure n°11 : <u>Abondance des cyanobactéries pour tous les transects, à chaque mission (Histogramme)</u>

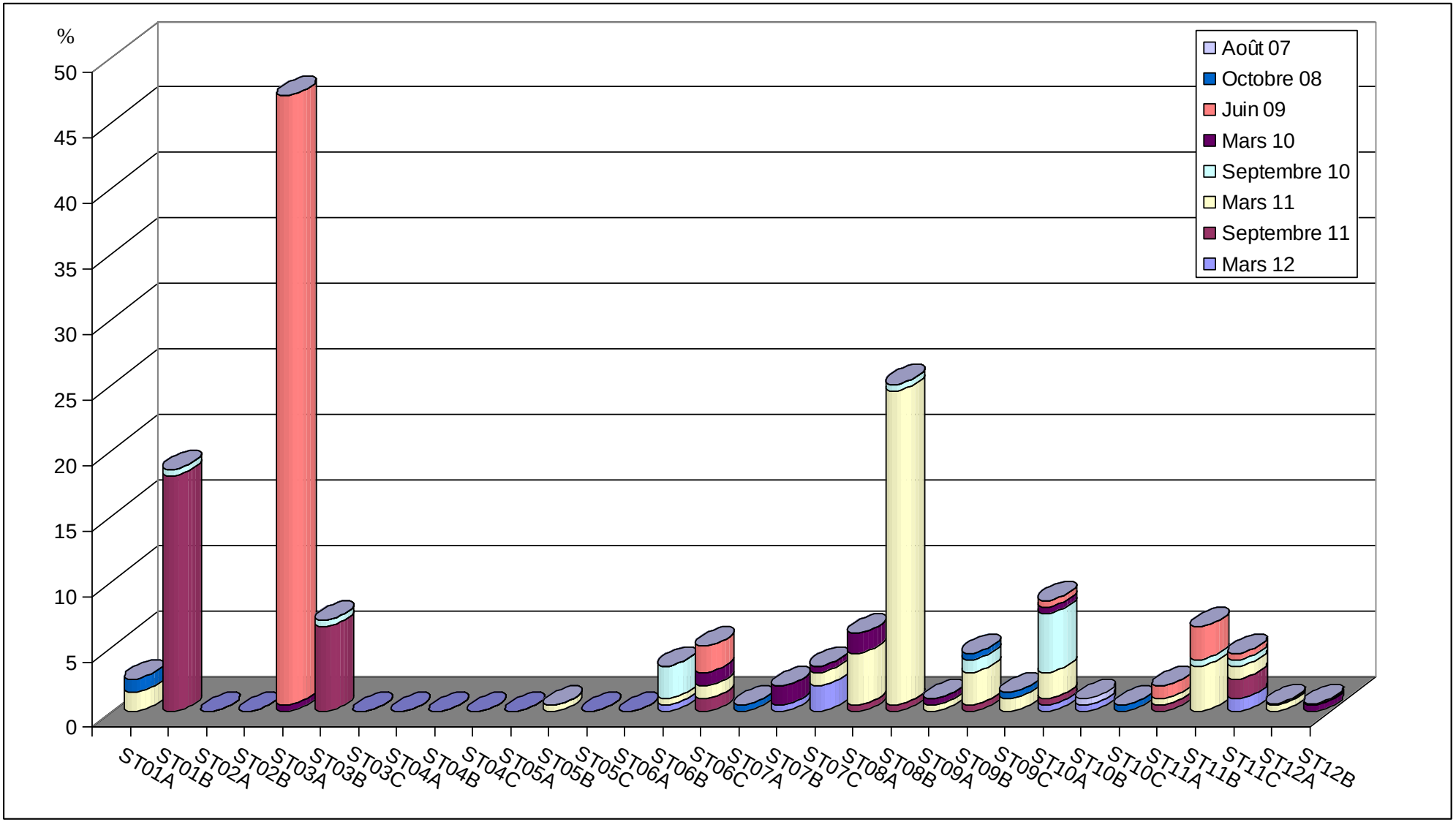


Figure n°12 : Recouvrement (%) des cyanobactéries, pour tous les transects, en cumulé pour toutes les missions

8.3 Conclusion (Cyanobactéries)

Si les résultats obtenus avec les deux protocoles sont comparés, les grandes variations sont similaires. Quelques rares résultats individuels ne le sont pas forcément : en effet, il peut y avoir quelques « plaques » de cyanobactéries dans un couloir, sans que celles-ci ne se trouvent jamais sous le transect : elles ne sont alors pas détectées par la méthode du LIT.

Recouvrement dans la zone d'étude

Les cyanobactéries ont été observées particulièrement sur les stations du canal de la Havannah, dans une moindre mesure pour la baie de Prony et très rarement dans le canal Woodin.

Leur recouvrement est variable:

a) selon les dégradations récifales engendrées par les facteurs environnementaux (dessalure, turbidité, hydrodynamisme),
b) selon les évènements exceptionnels (dépression, cyclones et phénomène climatique el Niño/la Niña),
c) selon la profondeur (exposition et lumière),
d) selon la nature du substrat (la vase et les débris corallien favorisent les proliférations),
e) selon la saisonnalité (température de l'eau),
f) selon la proximité d'une source anthropisée (port de l'usine).

En effet chaque système est soumis à des paramètres environnementaux différents (nature, intensité et durée). Les perturbations engendrées sur les récifs vont permettre aux cyanobactéries de se développer (réactions en chaine).

- Canal de la Havannah : l'hydrodynamisme intense (courant de marée, houle et ressac) va favoriser les dégradations mécaniques des coraux (colonies retournées, cassées et débris coralliens). Les débris coralliens et les colonies brisées vont dévaler la pente récifale et peuvent être le siège de développement important de cyanobactéries (développement localisé mais ces cyanobactéries sont généralement rapidement balayées par les courant de marée).

Ce phénomène est accentué sur les récifs les plus exposés et peu profonds (ST07A, ST08A&B, ST10A, ST11A) et sur les récifs où les débris dévalent la pente récifale (couloir d'effondrement : ST06B&C, ST09B&C, ST11B&C).

- Baie de Prony : la dessalure et la turbidité des eaux de surface entraînent du blanchissement et une mortalité corallienne. Les cyanobactéries se développent particulièrement dans les niveaux bathymétriques peu profonds (colonie morte en place, apport de lumière) et dans les zones vaseuses.

Ce phénomène est accentué durant la saison humide aux embouchures de creeks et rivières sur les récifs peu profonds et pour la station 03 à proximité du port de l'usine où la remobilisation des sédiments (hélice des bateaux) est importante et entraîne épisodiquement des perturbations.

- Canal Woodin : les courants de marées sont importants mais les colonies coralliennes sont adaptées à cet environnement. Les récifs de ST04 sont relativement protégés lors d'évènements exceptionnels.
Très peu de cyanobactéries s'y développent.

Causes des développements

Le phénomène de développement cyanobactérien est accentué :

- Durant les évènements exceptionnels : dépressionnaires (tempêtes et cyclones) et climatiques (el Niño/la Niña).
Les missions avec les plus forts recouvrements de cyanobactéries sont toujours postérieures à des périodes dépressionnaires :

- la mission de août 2007 suite à la dépression tropicale forte « Becky» en mars 2007,
- la mission de juin 2009 suite à la dépression tropicale forte « Jasper » du mois de février,
- la mission de mars 2011 suite aux cyclones et dépression tropicale forte « Vania et Zelia » et l'évènement climatique la Niña (au mois de janvier et tout le début d'année 2011).

- Durant la saison humide : les précipitations augmentent et les eaux de ruissellement charrient une quantité importante de sédiments aux embouchures des rivières et des creeks.

- Activités anthropiques : la diminution du couvert végétal et le ruissellement entraînent une augmentation de la concentration en matière en suspension dans les eaux des creeks et rivières. Ces perturbations peuvent engendrer des dégradations coralliennes et le développement de cyanobactéries.
De plus, le port de l'usine accueille de nombreux minéraliers, gaziers et autres grands bateaux qui remobilisent avec leur hélice les sédiments sur les récifs à proximité. De plus ,si ces bateaux mouillent dans la baie, leur chaîne et leur ancre peuvent remobiliser les sédiments et entrainer des dégradations mécaniques sur les colonies coralliennes.

Toute dégradation importante sur les communautés coralliennes d'origine naturelle ou anthropique entraîne inexorablement un développement intempestif de cyanobactéries. Pour l'instant, à ce jour, ces perturbations n'ont pas perduré dans le temps et le recouvrement des cyanobactéries ne s'est pas amplifié.
D'autre part, si l'apport de matière en suspension évoluait vers une augmentation (au-delà des apports caractéristiques des écosystèmes de fond de baie et embouchure) cela pourrait avoir de grandes répercussions dans le temps et dans l'espace sur les communautés coralliennes et particulièrement sur les coraux scléractiniaires (induisant une diminution de la pénétration de la lumière, l'augmentation de la concentration en nutriments, la mortalité de nombreuses espèces), et ainsi sur le développement important de cyanobactéries. Pour ces raisons, les stations du Port (ST03, située à l'est du port et face à l'embouchure d'un creek, qui connaît parfois des efflorescences) et du Creek baie nord (ST02, située au sud de l'embouchure de ce creek, relativement toujours indemne) sont à surveiller avec une grande attention.
Une vigilance particulière est à prendre en considération suite aux évènements exceptionnels de type naturel (dépression, cyclone, el Niño, la Niña) et de type anthropique (apports des MES dans l'eau, remobilisation des sédiments, pollutions).

9 Cas particuliers des espèces exogènes / invasives / envahissantes

9.1 Définitions

L'introduction d'espèce exogène est préoccupante car **tous les taxons peuvent selon le contexte devenir une espèce invasive** (espèce envahissante exogène)**. Les espèces invasives peuvent réguler leur croissance et s'étendre dans leur nouvel habitat en causant des perturbations dans les communautés biologiques locales.**

***- Espèce exogène* (espèce exotique ou espèce non indigène ou espèce allochtone) :** Se dit d'une espèce qui provient d'un autre pays, d'une autre région du monde, qui n'est pas native de l'endroit.

- Espèce invasive : Une espèce invasive ou espèce envahissante exogène ou espèce exotique envahissante est une espèce non native de la zone concernée (introduite) et qui devient un agent de perturbation nuisible à la biodiversité autochtone des écosystèmes naturels ou semi-naturels parmi lesquels elle s'est établie.

- Espèce indigène (ou espèce native ou espèce autochtone) :Qualifie la nature d'une espèce particulière native d'une région particulière ; se dit d'un organisme ou d'une espèce qui est naturellement originaire (indigène, autochtone) d'un environnement ou d'une région. Son contraire est espèce non indigène ou espèce exogène ou espèce allochtone.

- Espèce envahissante : Il ne faut pas confondre une espèce invasive, qui vient d'ailleurs, avec une espèce envahissante dont le potentiel de reproduction est important mais qui est une espèce indigène.

La notion écologique d'espèce invasive et d'espèce envahissante est récente : Pour la comprendre, il faut savoir que les équilibres entre espèces au sein des écosystèmes, à l'échelle de temps humaine au moins, sont relativement bien établis. Sans intervention humaine, les phénomènes d'extension brutale de l'aire de répartition d'une espèce (dite invasive) sont extrêmement rares. Les besoins des sociétés humaines conduisent à l'exploitation plus ou moins intense des écosystèmes et affectent la biodiversité.

Il faut donc bien faire la différence entre une espèce invasive (exogène à la base) et envahissante (indigène), même si les 2 phénomènes sont à surveiller du fait de leurs conséquences néfastes sur l'environnement.

9.2 Espèces exogènes / invasives

Les activités minières et industrielles de la société Vale Nouvelle-Calédonie génèrent un haut niveau de risque d'introduction, d'installation et de diffusion d'espèces exogènes notamment par l'importance du trafic de marchandises (en particulier via le port international de Prony) et par les nombreuses voies de pénétration ouvertes dans les milieux naturels.

Au vu de l'étendue de la zone géographique (baie de Prony, canal Woodin et canal de la Havannah), de la complexité et la multiplicité des habitats présents et à la diversité importante des taxons potentiels, nos observations sur les stations d'étude biologique sont mineures et seraient à préciser et renforcer avec un plan d'échantillonnage et une méthodologie plus adaptés à la problématique des espèces exogènes, si celle-ci venait à être identifiée par les administrations compétentes.
Cependant, au cours des différentes plongées, au fur et à mesure de la détermination des espèces rencontrées, quel que soit l'embranchement, nous essayons de détecter la présence d'espèces exogènes, invasives ou non.

A ce jour aucune espèce exogène n'a été répertoriée dans les stations de suivi biologique de la zone d'étude.
Il n'y a donc pas de phénomène d'invasion actuellement.

9.3 Espèces envahissantes

Par rapport aux taxons (indigènes) qui sont observés durant ces suivis :

- **L'abondance des espèces indigènes et les variations de leur recouvrement durant l'année** (depuis le suivi d'août 2007), **ne présentent pas, de manière permanente, d'anomalie caractéristique d'espèces envahissantes** qui pourraient nuire à l'environnement.
- **Toutefois, une attention particulière doit être portée sur l'évolution du recouvrement de deux genres de macrophytes** (***Asparagopsis*** et ***Lobophora)***. Si ces macrophytes venaient à être identifuées par les administrations compétentes comme cibles d'études de suivis spécifiques dans le lagon calédonien, des investigations complémentaires seraient à mettre en place avec un pas de temps plus court (trimestriel) et une méthodologie adaptée (quadras) afin d'évaluer leur potentiel de nuisance sur l'environnement ainsi que leur développement dans le temps et dans l'espace.

Les proliférations de macro-algues dans les écosystèmes littoraux des zones tropicales et subtropicales sont une menace sérieuse pour la diversité biologique de ces milieux. Typiquement, une croissance excessive des algues est le résultat d'une variété insuffisante d'animaux consommateurs d'algues et/ou de nutriments excessifs. L'apport important de matière en suspension peut être un facteur de perturbation.

- L'algue rouge du genre *Asparagopsis* présente un développement saisonnier très important (particulièrement en fin d'hiver austral et début d'été austral), dans certaines zones du canal de la Havannah comme le banc Ionotea (ST06), le banc de Kié (ST09) et le récif de Toémo (ST11). Ce genre est répertorié sur la liste IUCN comme un genre qui comporte des espèces introduites et invasives dans les zones subtropicales et tempérées. Le statut du genre *Asparagopsis* en tant qu'espèce invasive *vs* espèce envahissante reste à définir en Nouvelle-Calédonie car il existe de nombreux clades au sein de ce genre (espèces proches par la phylogénie). Ce genre est très souvent épiphyte sur d'autres algues. Il peut également constituer une menace pour les organismes benthiques et particulièrement pour les cnidaires (coraux) par les effets écologiques de sa prolifération et la toxicité naturelle sur la santé du corail.

- L'algue brune du genre *Lobophora* est également à surveiller à long terme car elle constitue un compétiteur spatial important pour les coraux. Ce genre se développe abondamment et de manière permanente en baie de Prony et il pourrait éventuellement avoir des caractéristiques d'une espèce envahissante dans certaines zones comme le Creek Baie Nord (ST02) et le port de Goro (ST03). Si les conditions environnementales venaient à changer (principalement augmentation de la turbidité), certaines espèces coralliennes pourraient être perturbées et le genre *Lobophora* pourrait ainsi se développer à la défaveur des coraux puis étouffer une grande partie des récifs.

Ces deux genres sont actuellement suivis avec attention à chaque campagne.

10 Conclusion

Algues vertes

- Les résultats quantitatifs de diversité et d'abondance des algues vertes montrent des évolutions dans le temps mais il n'apparait pas de similitude concernant les évènements dépressionnaires ni les cycles saisonniers des genres les plus abondants.

- Aucune prolifération, ni de diminution de la biodiversité ne sont observées au cours du temps (depuis 2007).

- Aucune espèce invasive (exogène), ni espèce envahissante (indigène) d'algues vertes n'a été répertoriée sur les stations de suivi.

Algues rouges

- Les résultats quantitatifs de diversité et d'abondance des algues rouges montrent des évolutions dans le temps. Les périodes les plus diversifiées et les plus abondantes sont corrélées à la fin de l'hiver austral (saison fraiche et sèche : octobre 2008, septembre 2010 et septembre 2011). Cependant les intervalles de confiance durant la période 2007 à 2012 restent importants.

-Aucune diminution de la biodiversité n'est observée au cours du temps (depuis 2007).

-Aucune espèce invasive (exogène) d'algues rouges n'a été répertoriée sur les stations de suivi.
Remarque : **Cependant, le développement du genre *Asparagopsis* est à surveiller à long terme car il est répertorié sur la liste IUCN comme comptant des espèces introduites et invasives dans les zones subtropicales et tempérées.**
Il constitue un compétiteur spatial important pour les coraux durant sa phase de développement (fin de l'hiver austral).

Algues brunes

- Les résultats quantitatifs de diversité et d'abondance des algues brunes montrent des évolutions dans le temps mais il n'apparait pas de similitude concernant les évènements dépressionnaires ni les cycles saisonniers des genres les plus abondants.

-Aucune prolifération, ni de diminution de la biodiversité n'ont été observé au cours du temps (depuis 2007).

-Aucune espèce invasive (exogène) d'algues brunes n'a été répertoriée sur les stations de suivi.

- **Espèce envahissante : le développement du genre *Lobophora* est à surveiller à long terme** Pour l'instant son développement est régulier mais si les conditions environnementales venaient à évoluer (principalement augmentation de la turbidité), ce genre pourrait ainsi se développer à la défaveur des coraux puis étouffer une grande partie des récifs **(caractère d'espèce envahissante).**

Cyanobactéries

- Le recouvrement des cyanobactéries reste pour la majorité des stations et la plupart des missions très faible (< 4.5%).

- Certains pics d'efflorescence ont pu être enregistrés : dans des stations plus « fragiles » (influences anthropique ou naturelle) et notamment lors des missions suivants des événements dépressionnaires majeurs, sans cependant d'effets dévastateurs sur les communautés coralliennes. Jusqu'à ce jour, **ce sont des épisodes isolés et totalement temporaires.**

- Les proliférations de cyanobactéries entraînant des effets désastreux sur le milieu, elles restent un point important à surveiller, avec **une vigilance particulière suite à des évènements exceptionnels de type naturel ou anthropique.**

Espèces exogènes

- A ce jour aucune espèce exogène n'a été répertoriée dans les stations de suivi biologique de la zone d'étude.
Il n'y a donc pas de phénomène d'invasion non plus.

- Du fait des activités de Vale Nouvelle-Calédonie, la zone est sensible à une introduction possible. Les impacts négatifs potentiels sur le milieu du développement d'une espèce exogène peuvent être très importants. De ce fait, **il faut** donc en plus des préventions prises en amont pour anticiper toute introduction, **continuer à surveiller attentivement le milieu naturel pour en détecter une le cas échéant**. La vitesse de réaction étant primordiale pour limiter les dégâts.

Espèces envahissantes

- A ce jour, aucune espèce envahissante n'a été répertoriée.

- Cependant (cf. paragraphes au-dessus), **deux genres sont actuellement surveillés particulièrement du fait de leur abondance et de leur caratère potentiel envahissant** : l'algue rouge du genre ***Asparagopsis*** et l'algue brune du genre ***Lobophora***.
Ce suivi précis est à maintenir impérativement.

11 Recommandations / Améliorations

L'équipe qui effectue ces suivis possède de solides connaissances dans le domaine de l'échantillonnage et en particulier sur la résolution des problèmes sur le terrain, qui peuvent entacher les résultats finaux.
Pour faciliter tant le travail terrain qu'ensuite le traitement des données, un certain nombre de recommandations est donné dans ce paragraphe.

Les améliorations proposées sont propres à un suivi adapté aux macrophytes.

Exhaustivité des données

L'étude de la biodiversité n'a pas été réalisée de manière exhaustive : **l'inventaire est réalisé pour les genres les plus abondants et les plus représentatifs** de chaque biotope et seulement au niveau spécifique lorsque cette identification est possible *in situ*.
Pour identifier toutes les espèces, il faudrait réaliser des prélèvements *in situ* afin de constituer un herbier et des analyses moléculaires (ADN).

Périodicité d'échantillonnage

La périodicité d'échantillonnage semestrielle des relevés de suivi biologique n'est pas adaptée aux cycles de développement des macrophytes car les valeurs maximales et minimales de diversité et de recouvrement ne sont pas forcément prises en compte. **Un suivi des macrophytes sur une période trimestrielle serait plus adéquat** pour identifier l'ensemble des variations et surtout les amplitudes maximales et minimales de diversité et d'abondance.

Précision / protocole des relevés

Les relevés d'abondance semi-quantitatifs permettent d'appréhender les variations de recouvrement pour chaque espèce recensées sur une échelle de 1 à 5 (rare à important).

Cependant, une **étude plus détaillée du genre *Asparagopsis*** (dans le canal de la Havannah) **et du genre *Lobophora*** (dans la baie de Prony) **serait pertinente pour une meilleure surveillance des risques potentiels** d'envahissement, d'invasion, de prolifération et de dégradations sur les communautés coralliennes.

Une étude comparative détaillée pourrait se baser sur le **suivi photographique de quadras** qui seraient placés dans les zones anthropisées à risque de perturbations ainsi que des zones témoins (en dehors de la zone d'influence).

Ainsi le genre *Lobophora* a des potentiels risques d'envahissement dans la baie de Prony. Plus précisément dans le réseau de suivi, les zones à risque concernées seraient la station du Port (ST03) et du Creek baie nord (ST02).

Le genre *Asparagopsis* a des risques potentiels d'envahissement dans le canal de la Havannah (récifs exposés aux agents hydrodynamiques). Plus précisément, dans le réseau de suivi les zones à risque concernées seraient les bancs coralliens immergées (ST06, ST07 et ST09) et le récif de Toémo (ST11). Cependant, le développement de ce genre est variable et sa répartition est relativement large, aussi les stations d'étude restent encore à préciser.

Station témoin

Les événements exceptionnels de type naturel (tels les dépressions, cylones, phases El Niño-La Niña) ou anthropiques entraînent des pertubations du milieu : modification de salinité, apports de MES dans l'eau, de nutriments, remobilisation des sédiments, pollution, etc.
Ces impacts sont particulièrements ressentis aux embouchures des creeks et rivières.

La mise en place d'une station témoin à proximité d'une embouchure (hors influence du projet bien sûr) pourrait donc permettre de discriminer les pertubations d'ordre naturel *vs* les impacts de l'activité de l'industriel.
La baie du Carénage voir la baie de Bonne Anse sont de bons sites potentiels.

12 Sources

Les différentes sources ayant servie à la rédaction du rapport sont présentées ci-dessous, avec, le cas échéant, les numéros qui rappellent les références citées dans le texte de cette étude.

2	A2EP, 2007. Rapport final pour le "Suivi de l'état des communautés coralliennes en baie de Prony et canal de la Havannah". Projet Goro Nickel. Mission Août 2007. Document : A2EP 037/07/E/NR – Version 01. 128p
	Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche n° 19 : Abondance des colonies coralliennes. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nikel et son environnement, pages 152-153
	Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche 20 : Recouvrement corallien. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nikel et son environnement, pages 154-155
	Andréfouët S., Torres-Pulliza D., 2004. Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa, Avril 2004, 26p + 22 planches
3	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AquaTerra_Rap_047-08_V02. 222p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AquaTerra_AtlasPho_047-08_V01. 96p
	Aqua Terra : Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2009. Purchase Order E13690. Document : AquaTerra_Rap_009-09_V02. 176p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2009. Purchase Order E13690. Document : AquaTerra_AtlasPho_009-09_V01. 104p
4	Aqua Terra : Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Purchase Order E15217. Document : AquaTerra_Rap_018-09_V03. 182p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Purchase Order E15217. Document : AquaTerra_ AtlasPho _018-09_V01. 96p
	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_Rap_006-09_V01. 256p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-09_V01. 190p
	Aqua Terra : Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission décembre 2009. Purchase Order E18597. Document : AquaTerra_Rap_048-09_V02. 205p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission décembre 2009. Purchase Order E18597. Document : AquaTerra_AtlasPho_048-09_V01. 98p
5	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_064-09_V01. 271p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_064-09_V01. 180p
	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2010. Purchase Order E29830. Document : AquaTerra_Rap_019-10_V01. 205p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour "Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2010. Purchase Order E29830. Document : AquaTerra_ AtlasPho _019-10_V01. 96p
6	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_058-10_V01. 276p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_058-10_V01. 200p
7	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_001-11_V01. 320p

	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_001-11_V01. 210p
8	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_040-11_V01. 342p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_040-11_V01. 211p
9	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_006-11_V01. 445p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-12_V01. 234p
	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2012. Purchase Order E29830. Document : AquaTerra_Rap_019-11_V01. 205p
	Aqua Terra : Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2012. Purchase Order E29830. Document : AquaTerra_Rap_019-11_V01. 205p
	Aqua Terra : Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-12_V01. 234p
	Arias-González J.E., Legendre P., Rodríguez-Zaragoza F. A., 2008. Scaling up beta diversity on Caribbean coral reefs Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 366, 28–36
	Avias J., 1959. Les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie et quelques-uns de leurs problèmes. Extrait du Bul. Soc. Géo. Fr, 7è série, t.I, p 424-430
33	Barrabe A., 2003. Estimation de la richesse spécifique d'un herbier de sargasses de Nouvelle Calédonie. Rapport de stage (IRD), non publié, 22p
	Bellwood D.R., Hughes T.P., 2001. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. Science 292, 1532–1534
	Bellwood D.R., Hughes T.P., Connolly S.R., Tanner J., 2005. Environmental and geometric constraints on Indo_Pacific coral reef biodiversity. Ecology Letters 8, 643–651
	Bemvenuti C. E., Rosa-Filho J. S., Elliott M., 2002. Changes in soft-bottom macrobenthic assemblages after a sulphuric acid spill in the Rio Grande Harbor (RS, Brazil). Braz. J. Biol., 63(2): 183-194, 2003. 12p
	Cabioch G., 1988. Récifs frangeants de Nouvelle-Calédonie (Pacifique sud-ouest). Structure interne et influences de l'eustatisme et de la néotectonique. Publications de l'Université de Provence (ed.), Aix en Provence : 291 p. + 25 planches-photos
	Cabioch G., Payri C. & Pichon M., 2002. Mission Nouvelle-Calédonie. Octobre–novembre 2001. Forages îlot Bayes. Morphologie générale et Communautés algo-coralliennes. In : Cabioch G., Payri C., Pichon M., Corrège T., Butscher J., Dafond N., Escoubeyrou K, Ihilly C., Laboute P., Menou J.L. & Nowicki L., 2002. Forages sur l'Ilot Bayes sur le récif barrière de Poindimié (côte Est de Nouvelle-Calédonie) du 7 septembre au 27 octobre 2001. Rapports de mission, Sciences de la Terre, Géologie - Géophysique, Centre de Nouméa, n° 47 : 22 p. + annexes
	Catala R., 1950. Contribution à l'étude écologique des îlots coralliens du Pacifique Sud. Bull. Biol. France, Belgique, t. 84, p.234-310, pl. 1-2, 11 fig. Paris
	Catala R., 1958. Effets de fluorescence provoquée sur des coraux par l'action des rayons ultraviolets. C. r. Acad. Sci., Paris, 247: 1678-1679
	Catala R., 1959. Fluorescent effects from corals irradiated with ultra violet rays. Nature, 183 : 949
	Catala R., 1960. Nouveaux organismes marins présentant des effets de fluorescence par l'action des rayons ultraviolets. C. r. Acad. Sci., Paris, 250 (6) : 1128
	Catala R., 1964. Carnaval sous la mer. 141p. 48fig. (ed.) Sicard, Paris
	Catala R., 1992. Offrandes de la mer. 336 p. Papeete.: Ed. du Pacifique
	CEDRE, 2006. Guide d'intervention chimique, Acide sulfurique. 64p
18	Chauhan V. D. & Krishnamurthy V., 1967. Observations on the output of zoospores, their liberation, viability and germination in *Sargassum swartzii* (Turner) C. Ag.; Proceedings of the seminar on sea salt and plants, CSMCRI, Bhavnagar, pp. 197–201
19	Chauhan V. D. & Krishnamurthy V., 1967. Ecology and seasonal succession of *Sargassum swartzii* (Turner) C. Ag. in Indian waters; Phykos 10 1–11
20	Chauhan V. D., 1972. Physiological ecology of the early stages of *Sargassum swartzii* (Turner) C. Ag.; *Bot. Mar.* 15 49–51
21	Chauhan V. D. & Mairh O. P., 1978. Report on the survey of marine algae resources of Saurashtra coast; Salt Res. India 14(2) 21–41
	Chevalier J.P., 1964. Compte-rendu des missions effectuées dans le Pacifique en 1960 et 1962 (Mission d'étude des récifs coralliens de Nouvelle Calédonie). Cah. Pac., 6 : 172-175
	Chevalier J.P., 1968. Géomorphologie de l'île Maré. Les récifs actuels de l'île Maré. Les Madréporaires fossiles de Maré. in : Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie. Paris : Singer-Polignac. 3 : 1-155
	Chevalier J.P., 1971. Les Scléractiniaires de la Mélanésie française (Nouvelle-Calédonie, "les Chesterfield, "les Loyauté, Nouvelles Hébrides). 1ère partie. in : Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie. Paris : Singer-Polignac. 5 : 307 p

	Chevalier J.P., 1973. Coral reefs of New Caledonia. in : JONES O.A, ENDEAN R. (ed.) : Biology and geology of coral reefs. New York : Acad. Press. Vol 1, Geol. 1 : 143-166
	Chevalier J.P., 1975. Les Scléractiniaires de la Mélanésie française. 2ème partie. in : Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie. Paris : Singer-Polignac. Vol. 7 : 407 p
	Chevalier J.P., 1980. Les coraux du lagon de la Nouvelle-Calédonie. in : DUGAS F., DEBENAY J.P. Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle-Calédonie à 1/50 000. Feuille la Tontouta. Paris : ORSTOM. Not. Explic., 86 : 17-22
	Chorus I. & Bartram J., 1999. Toxic Cyanobacteria in Water : A guide to their public health consequences, monitoring and management. Geneva :World Health Organization, 416
	Condit R., Pitman N., Leigh Jr. E.G., Chave J., Terborgh J., Foster R.B., Núñe, P., Aguilar S.,Valencia R., Villa G., Muller-Landau H.C., Losos E., Hubbell S.P., 2001. Beta-diversity in tropical forest trees. Science 295, 666–669
	Dagnelie P., 1975. Théorie et méthodes statistiques, Les Presses Agronomiques de Gembloux, (Vol II) 463 p
39	Davis T.A., Volesky B. and Mucci A., 2003. A revue of biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. Wat. Res., 37: 4311-4330
	Dietrich D.R., 2001. Détecter les cyanotoxines des eaux. Biofutur, 209, 44-47
35	Dooley J. K., 1972. Fishes associated with the pelagic *Sargassum* complex, with a discussion of the *Sargassum* community; Contrib. Mar. Sci. 16 1–32
1	English S. and al., 1997. Survey manual for tropical marine resources (2nd Edition). Australian Institute of Marine Science. 390p
	Faure G., Thomassin B., Vasseur P., 1981. Reef coral assemblages on the windward slopes in the Noumea Lagoon (New Caledonia). Proc. 4th int. Coral Reef Symp., Manila, 18-22 May 1981. 293-301
	Fisk D. 2009 Best practice for LIT survey. Coral list Vol4 Issue 28
13	Fogg G.E., 1975. Algal cultures and Phytoplancton ecology. 2e éd., Univ. Wisconsin in Press.. Madison and Milwaukee, 3-175
	Friedman M., 1937. The use of ranks to avoid the normality implicit in the analysis of variance. J. Amer. Statist. Ass. (32) 675-701p
	Frontier S., 1982. Réflexions pour une théorie des écosystèmes. Bull. Ecol. 8 (4) : 445-464
	Gabrié C., Cros A., Chevillon C., Downer A. 2005. Analyse Eco-régionale marine de Nouvelle-Calédonie. Atelier d'identification des aires de conservation prioritaire. 112p
	Gardiner J.S., 1899. On the solitary corals. in : WILLEY A. (ed.), Zoological results based on material from New Britain, New Guinea, Loyalty Islands and elsewhere collected during the 1895-1896 and 1897. Londres : Camb. Univ. Press. Part 2 : 161-170
14	Garrigue C., 1985. Répartition et production organique et minérale de macrophytes benthiques du lagon de Nouvelle Calédonie. Thèse, Université des Sciences et Techniques du languedoc, Montpellier, 270 pp
	Garrigue C. & Tsuda R.T., 1988. Catalog of marine benthic algae from New Caledonia. Micronesico, 21, 53-70
15	Garrigue C. & Di Matteo A., 1991. La biomasse végétale benthique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Résultats bruts : liste taxonomique, biomasses, pigments chlorophylliens. Arch. Sci. Mer, Biol. iiiur., ORSTOM, Nouniea, 1, 143 pp
28	Godoy E.A.S. and Coutinho R., 2002. Can artificial beds of plastic mimics compensate for seasonal absence of natural beds of Sargassum furcatum? J. Mar. Sc., 59: S111 S115
	Goldman J.C. & Carpenter E.J., 1974. A kinetic approach to the effect of temperature on algal growth. Limnol. Oceanogr. 19: 756-66
	Guerloget O. & Perthuisot J.P., 1983. Le domaine paralique. Expressions geologique, biologique et économiques du confinement. Presses de l'Ecole Normale Supérieure (16) Paris: 136p
	Guille A., Menou J. L., Laboute P., 1986. Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie. Edition de l'ORSTOM. 238p
	Harada K.-I., Tsuji K. & Wanatabe M.F., 1996. Stability of microcystins from cyanobacteria. III. Effect of pH and temperature. Phycologia, 35 (6 Supplement), 83-88
	Harborne A.R., Mumby P.J., Zychaluk K., Hedley J.D., Blackwell P.G., 2006. Modeling the beta diversity of coral reefs. Ecology 87, 2871–2881
	Harmelin-Vivien M.L., J.G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, R. Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, R. Chevalier, J. Duclerc, G. Lasserre, 1985 – Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. Revue d'Ecologie (Terre et Vie), vol. 40 : 80p
	Hatcher B.G., 1997. Coral reef ecosystems: how much greater is the whole than the sum of the parts? Coral Reefs 16, S77–S91
	Hawkins Sigrid V., 2006. "Feeding Preference of the Cushion Star, Culcita Novaeguineae in Mo'orea" (December 1, 2006). Water Resources Center Archives. Biology and Geomorphology of Tropical Islands (ESPM 107/IB 158)
23	Kendrick G. A., 1994. Effects of settlement density and adult canopy on survival of recruits of *Sargassum* spp. (Sargassaceae phaeophyta); Mar. Ecol. Progr. Ser. 103 129–140
24	Kendrick G. A. & Walker D. I., 1994. Role of recruitment in structuring beds of *Sargassum* spp. (Phaeophyta) at Rottnest Island, western Australia. J. Phycol. 30:200–8
25	Kendrick G. A. and Walker D. I., 1995. Dispersal of propagules of *Sargassum* spp. (Sargassaceae phaeophyta) : observations of local patterns of dispersal and possible consequences for recruitment and population structure. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 192 273–288
26	Kirkman H. & Kendrick G. A., 1997. Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beachcast macroalgae and seagrasses in Australia: A review; J. Appl. Phycol. 9 311–326
	Krishnamurthy V., 1967. Seaweed drift on the Indian coast. Proceedings of the Symposium "Indian Ocean"; Bull. Nat. Inst. Sci. India 38 657–666

	Kruskal W., Wallis W.A., 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. Journal of the American Statistical Association 47 (260): 583–621
	Kulbicki M., Guillemot N., Amand M., 2005 - A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. Cybium 2005, 29 (3): 235-252
	Laboute P., 1988. The presence of scleractinian corals and their means of adapting to a muddy environment: the "Gail Bank", p. 107-111, graph., phot. - International Coral Reef Symposium, 1988/08/8-12, Townsville
	Laboute P., Grandperrin R. 2000. Poissons de Nouvelle-Calédonie, Nouméa : Catherine Ledru, 519 p
	Lasne G., 2007. Les coraux de Nouvelle-Calédonie : Synthèse bibliographique. Cellule de coordination CRISP, IRD, WWF, MNHN, EPHE. 93p
	Lasne G., Menou J.L., Geoffray C., 2006. Description des biocénoses marines et la morphologie baie de Ouémo. Rapport de mission confidentiel, Centre IRD de Nouméa, 26p
	Lasne G., Payri C, Menou J.M., 2006. Description des biocénoses marines et la morphologie à Poindimié. Rapport de mission confidentiel, Centre IRD de Nouméa, 23 p
	Lasne G., Geoffray C., Folcher E., 2007. Description des biocénoses marines et la morphologie à la Pt de Mouly, Ouvéa. Rapports de mission confidentiel, Centre IRD de Nouméa, 26 p
	Lasne G., Menou J.M., Folcher E., 2007. Description des biocénoses marines et la morphologie à Xépénéhé, Lifou. Rapport de mission confidentiel, Centre IRD de Nouméa, 28 p
	Lasne G., 2010. Inventaire des coraux scléractiniaires du Grand Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie – Campagne CORALCAL III, 10-30 mars 2009. 122p
27	Leite F.P. and Turra A., 2003. Temporal variation in *Sargassum* biomass, Hypnea Epiphytism and associated fauna. Brazilian archives of Biol. and Technol., 46(4): 665-671
36	Lenanton R. C. J., Robertson A. I. and Hansen J. A., 1982. Nearshore accumulations of detached macrophytes as nursery areas for fish; Mar. Ecol. Prog. Series 9 51–57
	Levi C., Bargibant G., Menou J.L., Laboute P., 1998. Sponges of the New Caledonian Lagoon. Edition de l'ORSTOM. 214p
	Lloyd's register, 2009. Investigation into the Sulphuric Acid Leak to the Envitonment. Vale Inco Goro Site. Pour la Direction de l'Industrie des Mines er de l'Energie de Nouvelle-Calédonie. Version 02, 37 p
30	McClanahan T.R., Nugues M. and Mwachireya S., 1994. Fish and sea urchin herbivory and competition in Kenyan coral reef lagoons: the role of reef management. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 184 (2): 237-254
	Motomura I., 1932. A statistical treatment of associations, Jpn. J. Zool. 44: 379–383
	Mundy C. These about accuracy and precision of the LIT method. James Cook University Townsville 1985
32	Mukai H., 1971. The phytal animal on the thalli of *Sargassum serratifolium* in the Sargassum region, with reference to their seasonal fluctuations. Mar. Biol., 8: 170-182
	Norton A. C., Mathieson A. C. and Neushul M., 1982. A review of some aspects of form and function in seaweeds; Bot. Mar. 25 501–510
	Ormond R.F.G., Roberts C., 1997. The biodiversity of coral reef fishes. In: Ormond, R.F.G., Gage, J.D., Angel, M.V. (Eds.), Marine Biodiversity: Patterns and Processes. Cambridge University Press, pp. 216–257
31	Ornellas A.B. and Coutinho R.,1998. Spatial and temporal patterns of distribution and abundance of a tropical fish assemblage in a seasonal Sargassumbed, Cabo Frio Island, Brazil. J. Fish Biol, 53 (A): 198-208
	Payri C.E., 1988. *Halimeda* contribution to organic and inorganic production in a Tahitian reef system. Coral Reefs, 6,251-262
	Payri C.E. & N'Yeurt A.D.R., 1997. A revised Checklist of Polynesian benthic Marine Algae, Australian Systematic Botany, 10: 867-910
10	Payri C., N'Yeurt A.R. & Orempüller J., 2001. Algae of french Polynesia -Algues de Polynésie Française. Edition Au Vent des îles - tahiti, 320pp
	Payri C. et Richer de Forges B., 2006. Compendium of marine species from New Caledonia. Doc. Sci. Tech. II7 volume spécial, IRD
	Pearson E.S. et Hartley H.O., 1966. Biometrika tables for statisticians (Vol I) University Press, Cambridge, 264p
	Pichon M., 2006. Biodiversité des coraux scléractiniaires de Nouvelle-Calédonie. Rapport sur la mission effectuée à Nouméa Nouvelle-Calédonie du 4 au 21 mai 2006. Rapports de mission confidentiels
	Pichon M. 2006. Scleractinia of New-Caledonia. Check list of reef dwelling species. Rapports de mission confidentiels
	Pichon M. 2006. Scleractinia of New-Caledonia.in Payri C. et Richer de Forges B., (eds). Compendium of marine species from New Caledonia. Doc. Sci. Tech. II7 volume spécial, IRD : 148-155
	Pichon M. et al., 2007 Biodiversité des coraux scléractiniaires de Nouvelle-Calédonie. Rapport de mission confidentiel du Diahot du 17 novembre au 12 décembre 2006 (EPHE), 26p
22	Raju P. V. & Venugopal R., 1971. Appearance and growth of *Sargassum plagiophyllum* (Mart) C. Ag. on a fresh substratum; Bot. Mar. 14(1) 36–38
	Randall J.E., Allen G.R. and R.C. Steene, 1990. Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii. 506 p
	Randall J.E., 2005. Reef and shore fishes of the South Pacific. University of Hawaii, Press book. 707 p
12	Reynolds & Casterlin, 1977. Effect of temperature on the growth rate of *Griffithsia tenuis* C. Agardh (rhodophyta: ceramiales). Hydrobiologia vol. 56, 3, pag. 225-227

	Richer de Forges B., Laboute P., 2004. Lagons et récifs de Nouvelle-Calédonie, 1600 espèces. Edition Catherine Ledru-IRD
	Risk M.J., Risk A.C., 1997. Reef surveys as an aid in management. Proc. 8th Intl. Coral Reef Sym. 2, 1471±1474.
29	Rossier O. and Kulbicki M., 2000. A comparison of fish assemblages fromtwo types of algal beds and coral reefs in the south-west lagoon of New Caledonia. Cybium, 24: 3-26
	Salvat Bernard, 1996. Suivi scientifique du phénomène de blanchissement des coraux en Polynésie française, Follow up of coral bleaching in French Polynesia. 97 p. (bibl.: dissem.), ENV-SRAE - 92006
	Sato M., 1984. Mortality and growth of juvenile coral *Pocillopora damicornis* (Linnaeus) Univ. Ryukyus, dep. marine sci., Okinawa 903 01, JAPON
38	Sheng P.X., Ting Y.P., Chen J.P. and Hong L., 2004. Sorbtion of lead, copper, cadmium, zinc and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity andinvestigation of mechanisms. J. Coll. Int. Sc., 275: 131-141
16	Silva P. C., 2002.Overview of the Genus *Caulerpa*, University Herbarium. International *Caulerpa taxifolia* conference
40	Soubeyran Y., Meyer J.Y. et le Groupe de travail « Espèces Exogènes », 2011. Expertise du « Plan opérationnel pour la maîtrise des espèces exogènes » de la société Vale Nouvelle-Calédonie. Rapport final. 34p
	Spalding M.D., Ravilious C. & Green E.P., 2001. World atlas of coral reefs. University of California Press, 424 p
37	Stiger V., Deslandes E. and Payri C.0, 2004. Phenolic contents of twobrown algae, *Turbinaria ornata* and *Sargassum mangarevenseon* Tahiti (French Polynesia): interspecific, ontogenic and spatio-temporal variations. Botanica Marina 5
34	Tanaka M.O. and Leite F.P., 2003. Spacial scaling in the distribution of macrofauna associated with *Sargassum stenophyllum* (Martens) Martius: analysis of faunal group, gammarid life habits, and assemblage structure. Journal of Exp. Mar. Biol. Ecol., 293(1): 1-22
	Veron J.E.N., Pichon M., 1980. Scleractinia of Eastern Australia. Part 3. Families Agaricidae, Siderastreidae, Fungiidae, Oculinidae, Merulinidae, Mussidae, Pectinidae, Caryophyllidae, Dendrophylliidae. Mem. Austral. Inst. Marine Sci. 4. 422 pp
	Veron J.E.N.., Wallace C.C., 1984. Scleractinia of eastern Australia. IV Familly Acroporidae. Aust. Inst. Mar. Sci. Monogr. Ser. 6. 485p
	Veron J.E.N., 1986. Coral of Australia and the Indo-Pacific. Angus and Robertson Publishers. 644 p
	Veron J.E.N., 1995; Corals in space and time, the biogeography and evolution of the Scleractinia. UNSW Press, Sydney. 321p
	Vezie C., Bertru G., Brient L. & Lefeuvre J.C., 1997. Blooms de Cyanobactéries hépatotoxiques dans l'ouest de la France. TSM, 10, 39-46
	Wallace C., 1999. Staghorn Corals of the World. A revision of the Genus Acropora. (ed) CSIRO Publishing pp. 422p
	Wells J.W., 1959. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 1 and 2. Pac. Sci., 13 (3) : 286-290
	Wells J.W., 1961. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals, Part 3. A new reef coral from New Caledonia. Pac. Sci., 15 : 189-191
	Wells J.W., 1964. The recent solitary Mussid Scleractinian corals. Zool. Meded., Leiden, 39 : 375-384
	Wells J.W., 1968. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Parts 5 and 6. Pac. Sci., 22 (2) : 274-276
	Wells J.W., 1971. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 7. Pac. Sci., 25 (3) : 368-371
	Wells J.W., 1984. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part 10. Pac. Sci., 38 (3) : 205-219
	Whittaker R.H., 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. Ecological Monographs 30, 279–338
	Whittaker, R. H. (1972) Evolution and measurement of species diversity Taxon 21 : 213-51
	Whittaker R.H., 1977. Species diversity in land communities. Evolutionary Biology 10, 1–67
	Wijsman-Best M., 1972. Systematics and ecology of New Caledonia Faviidae (Coelenterata, Scleractinia). Bijdr. Dierk., 42 (1) : 1-90
	Wijsman-Best M., 1973. A new species of the Pacific coral genus Blastomussa from New Caledonia. Pac. Sci., 27 (2) : 154-155
	Wijsman-Best M., 1974. Habitat-induced modification of reef corals (Faviidae) and its consequences for taxonomy. In: Proceedings of the Second international coral reef symposium (Cameron-A-M editor), Volume 2; coral settlement and growth : 217-228
	Wilcoson F., 1945. Individual comprarisons by ranking methods. Biometrics Bulletin 1 (6): 80–83
	http://coordination-maree-noire.eu/spip.php?article9029
	http://www.bonnagreement.org/fr/html/recent-incidents/accidents_chimiques.htm
	www.cnrs.fr
	www.com.univ-mrs.fr/IRD
	http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atollpol/ecorecat/recifs.htm
11	http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atollpol/ecorecat/algues.htm
	www.coraux.univ-reunion.fr
	www.crisponline.net/Portals/1/PDF/CRISP_Synthese_bibliographique_coraux.pdf
41	www.meteo.nc
	www.ird.fr
	www.sealifebase.org/
17	http://www.sgnis.org/
	http://en.wikipedia.org/wiki/Relative_species_abundanceet http://seme.ugar.qc.ca/18_effets_communautes/effets_communautes.htm
	www. wikipedia.org

Aqua Terra

Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation

Milieu marin : **états initiaux** & **suivis**, échantillonnage terrain : courantologie, substrat (LIT), benthos & coraux, poissons (TLV), prélèvements eau & sédiment. Toutes les méthodes du guide du CNRT. Dossier DAODPM

Milieu eaux douces : **états initiaux** & **suivis** avec prélèvements eau & sédiment et faune benthique. **Indices biotiques** (dont IBNC et IBS), indice EPT, structure des populations …

Plans de restauration et de réhabilitation : milieu marin (récifs), mangroves et rivières

Gestion de la flore et écologie : états initiaux**, inventaires floristiques,** zonation de formations végétales, études d'impact, plans de conservation, **plans de restauration**, revégétalisation de sites miniers, génie végétal, valorisation du milieu naturel, **Maitrise d'œuvre** / suivi de chantier en revégétalisation

Mines et carrières : techniques minières, exploitation, **fermeture de site** (gestion des eaux, terrassement, revégétalisation), **gestion des eaux** (audit, conception d'ouvrages, plans), dossiers de **Demande d'Autorisation d'Exploitation** nouvelle ou en régularisation selon le nouveau Code Minier, **Demande de Travaux de Recherche** selon le nouveau Code minier, ICPE, hydrologie et hydrogéologie, **Maitrise d'œuvre / suivi de chantier** en terrassement, gestion des eaux et revégétalisation

Etudes Environnementales, ICPE, EFE, EI, DAODPM : dans les domaines des déchets, des projets industriels, des projets d'aménagement, des projets en milieu naturel (maritime, dulçaquicole ou terrestre), pour la conception de projet dans un but de développement durable (aménagements aquatiques, écotourisme, épuration biologique des eaux, rédaction de plan HSE, suivi de chantier, de certification, …)

Formation, sensibilisation, management : environnement, normes, réglementations, audits internes**, Management qualité** – Norme ISO 9001, **Management environnemental** – Norme ISO 14001

aquaterra@aquaterra-nc.com